

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

О. Г. Клемешев, О. Ф. Бабічева

Конспект лекцій

з дисципліни

**«Метали і зварювання у
будівництві»**

(для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти
за напрямом підготовки 0921 (6.060101) «Будівництво»)

ХАРКІВ ХНАМГ 2008

Клемешев О. Г. Конспект лекцій з дисципліни «Метали і зварювання у будівництві» (для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти за напрямом підготовки 0921 (6.060101) «Будівництво») / О. Г. Клемешев, О. Ф. Бабічева; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2008. – 65 с.

Автори: О. Г. Клемешев,
О. Ф. Бабічева

Рецензент: проф., д.т.н. І. Г. Міренський

Рекомендовано кафедрою ЕТ,
протокол № 3 від 16.10.2007 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. БУДОВА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ.....	5
2. КРИСТАЛІЗАЦІЯ І БУДОВА МЕТАЛЕВОГО ЗЛИВКА.....	9
3. МЕТАЛЕВІ СПЛАВИ.....	10
3.1. Взаємодія металів у твердому стані.....	11
4. УТВОРЕННЯ ХІМІЧНИХ СПОЛУК.....	12
5. ОСНОВНІ ТИПИ ДІАГРАМ СТАНУ СПЛАВІВ.....	13
5.1. Правило фаз і відрізків.....	17
5.2. Зв'язок властивостей сплавів з типом діаграм станів.....	19
6. ДІАГРАМА СТАНУ «Fe – C».....	20
7. ОСНОВИ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ.....	23
7.1. Термічна обробка.....	23
7.2. Відпал. Нормалізація.....	25
7.3. Гартування та відпуск.....	26
7.4. Хіміко-термічна обробка.....	29
8. МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	29
8.1. Класифікація сталі (загальна).....	29
8.2. Чавуни.....	32
8.3. Пластична деформація і рекристалізація металів.....	34
9. ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО.....	38
9.1. Фізична суттєвість процесів, що протікають при зварюванні... ..	38
9.2. Зона термічного впливу.....	40
9.2.1. Будова зварного шва і його механічні якості.....	42
9.3. Види зварювальних з'єднань і швів.....	42
9.4. Контроль зварювальних з'єднань.....	44
9.5. Електродугове зварювання.....	54
9.5.1. Схема запалення зварювальної дуги.....	55
9.5.2. Ручне дугове зварювання покритим електродом.....	57
9.5.3. Автоматичне і напівавтоматичне зварювання під флюсом..	59
9.6. Газове зварювання.....	60
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	65

ВСТУП

Основна вимога конструкційних матеріалів промислового будівництва – поліпшення якості матеріалів. Майбутній фахівець з галузі будівництва повинен отримати необхідні знання про можливу дію на властивості металів, що використовують як елементи будівельних конструкцій, а також про засоби переробки металів у виробі.

Металографія виникла в XIX ст. як самостійна галузь знання і наукова дисципліна. Металознавство охоплює широке коло питань, вивчає все, що відноситься до будови або структури металів і сплавів. Відомо більше 50 чистих металів і безліч сплавів. Метою металознавства є вивчення структури й властивостей металів і їх сплавів, обґрунтування вибору металів для тих або інших цілей, а також розробка або дослідження нових металевих матеріалів, що володіють потрібними властивостями.

Ця наука виникла у практиці російських металургійних заводів. Засновниками її є В.А. Аносов, Д.К.Чернов. Аносов В.А. на Златоустівському заводі займався виробництвом булатної сталі. Всі її властивості пов'язані з виплавою і подальшою тепловою обробкою. Вперше в 1831 р. він застосував мікроскоп для дослідження структури сталі, звернув увагу на залежність властивостей сталі від її структури.

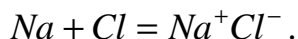
Засновник сучасних легованих сталей Чернов Д.К. у 1866 р. на Обухівському заводі керував заміною бронзових гармат на сталеві. Зробив ряд теоретичних відкриттів: критичні точки (1869), структуру зливка, поліморфізм заліза, побудував першу діаграму (діаграма Чернова), де точка «А» визначена за появою гартування, точка «В» - за перетворенням сталі з великокристалічної будови в дрібнокристалічну будову. Він першим відмітив, що при нагріві існує температура, нижче за яку звичайна сталь не гартуванняється. Визначив температуру точки «В», що відповідає темно-червоному кольору для коління і різна для сталей з різним вмістом вуглецю. Визначив точку «Х» - початок плавлення сталі, точку «С» - кінець плавлення сталі. Відкрив точки «D» і «Е». Точка «D» - приблизно 200°C і відповідає температурі, до якої треба швидко охолоджувати сталь при гартуванні, щоб отримати високу твердість. Точка «Е» - приблизно 450°C. При цій температурі відбувається повний «відпуск» сталі. Розробив вчення про будову сталевих зливок, вперше вказав на кристалічну будову металів.

1 БУДОВА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Характерною особливістю будови атомів металів є мале число електронів на зовнішній орбіті і їх слабкий зв'язок з ядром. Легкість відриву валентних електронів від ядра обумовлює всі основні властивості металів.

У твердих тілах існують чотири типи зв'язків:

1. *Іонні*, коли при взаємодії один атом віддає свої електрони іншому і, як результат, один з них стає позитивно, а інший - негативно зарядженим



2. *Ковалентні* зв'язки в однойменних атомів і при утворенні ряду металевих з'єднань. Засновані на тому, що при взаємодії атомів відбувається немовби усупільнення двох або декількох електронів. Ці узагальнені електрони одночасно належать декільком атомам. Стійкою конфігурацією зовнішньої орбіти є така, коли на ній 8 електронів.

3. *Металевий* зв'язок характеризується наявністю немовби каркаса з позитивно заряджених іонів, усередині якого вільно переміщуються валентні електрони. При цьому переміщенні вони взаємодіють одночасно з декількома позитивно зарядженими іонами і утворюють зв'язок з ними. Приводить до утворення твердих кристалічних тіл.

4. *Молекулярний* зв'язок (Ван-дер-Ваальса). Існує в ряду речовин між молекулами з ковалентними внутрішньомолекулярними зв'язками. Прикладом є парафін, який має низьку температуру плавлення, що свідчить про неміцність кристалічної молекулярної решітки.

Всі тверді тіла розділяються на дві групи:

- аморфні;
- кристалічні.

На відміну від аморфних тіл, кристалічні тіла характеризуються трьома особливостями:

- 1) розташуванням атомів у внутрішній будові;
- 2) властивостями;
- 3) процесом кристалізації або переходом з рідкого стану в твердий.

На відміну від аморфних тіл, кристалічні тіла володіють закономірним розташуванням атомів. Атоми розташовуються в певному порядку, на певних відстанях один від одного, утворюючи елементарні або кристалічні решітки.

Елементарні решітки (рис.1) - мінімальна група атомів, що утворює правильну геометричну фігуру, переміщенням або трансляцією якої можна побудувати весь кристал.

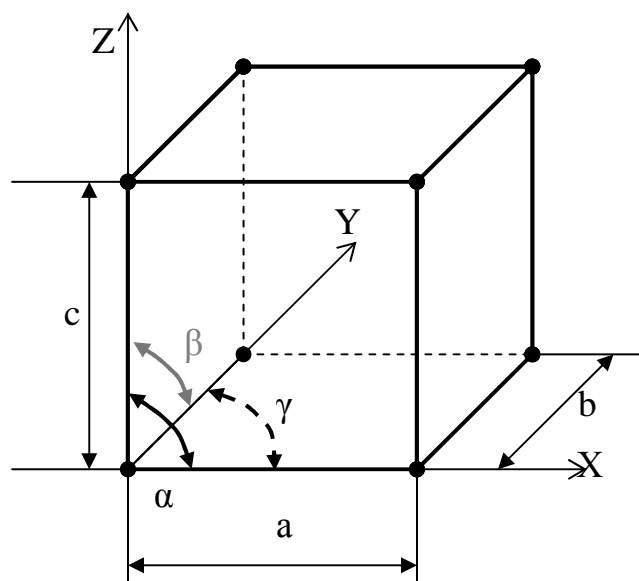


Рис.1 - Елементарні решітки металів

1. Кути між гранями:

$xZ - \alpha$

$yZ - \beta$

$xY - \gamma$

2. Відстань між атомами:

$x \rightarrow a; \quad y \rightarrow b; \quad z \rightarrow c$. Це параметри решіток.

Існує сім кристалічних систем залежно від кутів і параметрів:

1	триклінна	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	$a \neq b = c$
2	моноклінна	$\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	$a \neq b = c$
3	ромбічна	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a \neq b = c$
4	ромбоєдрична	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	$a = b = c$
5	кубічна	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b = c$
6	тетрагональна	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b < c$
7	гексагональна	$\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$	$a = b < c$

Ці сім систем можуть утворювати 14 типів просторових решіток.

Кубічні системи дають три типи просторових решіток:

1) звичайний (простий) куб, коли атом розташований тільки по вершинах куба (метали так не кристалізуються);

2) об'ємцентрований куб (ОЦК), коли окрім 8 атомів у вершинах є 1 атом в центрі куба. Такі решітки мають багато металів: $Fe_\alpha, W, Cr, V, Mo, Pb, Nb$;

3) гранецентрований куб (ГЦК), коли окрім 8 атомів у вершинах є ще атоми в центрі кожної грані. Такі решітки також мають багато металів: $Fe_\gamma, Ni, Al, Ag, Au, Cu, Pt$.

Приклади інших типів решіток:

- 1) тетрагональна об'ємцентрована (рис.2)

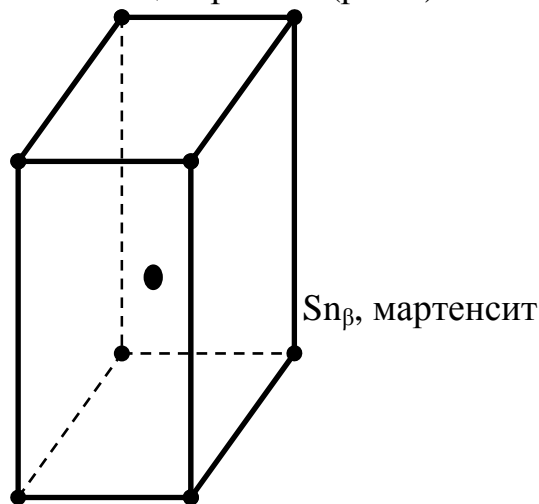


Рис.2 - Тетрагональна об'ємцентрована решітка

- 2) гексагональна з центрованими основами (рис.3)

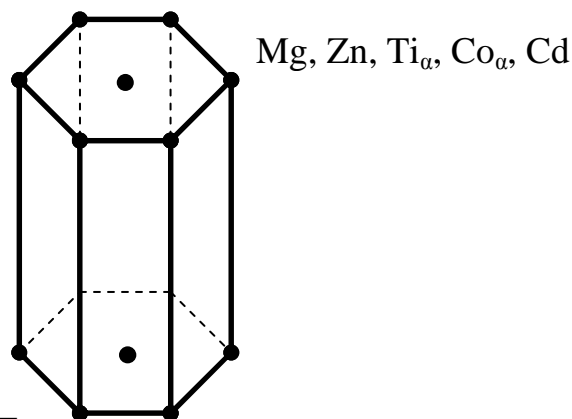


Рис.3 - Гексагональна з центрованими основами

Щільність різних кристалічних решіток різна і характеризується координаційним числом K , під яким розуміють число атомів, що знаходяться на рівній і найменшій відстані від даного атома. Для $ОЦК$ $K=8$, для $ГЦК$ $K=12$.

У кристалах завжди є дефекти (недосконалість) будови, викликані порушенням розташування атомів у кристалічній решітці. Дефекти кристалічної будови за геометричними ознаками підрозділяють на точкові, лінійні й поверхневі.

1. «**Точкові дефекти**» - вакансії і міжвузлові атоми. Окремі атоми мають енергію, що перевершує середню, і можуть переміщуватися з одного місця в інше. Такі атоми, особливо розташовані ближче до поверхні, виходять на поверхню, а їх місце можуть зайняти атоми, що знаходяться далі від поверхні. Звільнене місце, де знаходився атом, який перемістився, називається «**вакансією**». Число вакансій збільшується з підвищенням температури, при обробці тиском, опромінюванні та інших видах обробки. Вакансії відіграють важливу роль в дифузійних процесах, що відбуваються в металах і сплавах

«Міжвузлові дефекти» утворюються в результаті переходу атома з вузла решітки в міжвузол кристалічної решітки. Точкові дефекти приводять до спотворення кристалічної решітки.

2. «**Лінійні дефекти**» - дислокації. Розрізняють два види дислокацій: *крайові* й *гвинтові*. Крайові дислокації є місцевими спотвореннями кристалічної решітки; гвинтова дислокація утворюється при неповному зрушенні кристала по площині. Дислокації утворюються у процесі кристалізації, при хімічній і хіміко-термічній обробках, пластичній деформації та інших видах дій на структуру сплавів.

3. «**Поверхневі дефекти**» є поверхні розділу між окремими кристалами і їх блоками.

Метали і сплави знаходяться в трьох агрегатних станах: твердому, рідкому, газоподібному. Перехід металу з рідкого стану в твердий називають **кристалізацією**. Цей вид кристалізації називається *первинною кристалізацією* на відміну від *вторинної кристалізації* (перекристалізації), яка має місце в твердому металі. У чистих металах твердий стан переходить в рідкий при температурі плавлення, рідкий в газоподібний - при температурі кипіння. Температура плавлення металів коливається від -39°C (для ртуті) до 3390°C (для вольфраму). Процес кристалізації складається з двох елементарних процесів:

- 1) зародження центрів кристалізації (утворення зародків кристалів);
- 2) зростання кристалів навколо цих зародків.

Не всяка частинка твердої фази може бути центром кристалізації. Ним можуть бути частинки, збільшення розмірів яких приводить до зменшення вільної енергії, тобто центром кристалізації є частинки з розміром $r > r_k$, а всі частинки менші, ніж r_k , розчинятимуться. Процес кристалізації, тобто число зародків (ч.з.) і швидкість кристалізації (ш.к.) залежать від ступеня переохолодження.

Число зародків - це число центрів кристалізації, що виникають в одиницю часу в одиниці об'єму.

Швидкість кристалізації - лінійні зміни розмірів кристалів в одиницю часу.

Ступінь переохолодження - це різниця між теоретичною і дійсною температурою кристалізації.

Кристал - це геометрично правильна фігура з плоскими гранями, що природно утворилася, форма якої залежить від типу просторової решітки.

Зерно - неповногранний кристал із закругленими гранями. Утворюється в результаті зіткнення сусідніх зерен при кристалізації.

Дендрит - спотворений кристал деревовидної форми. Швидко росте в одному вертикальному напрямі. Можуть виникати осі другого порядку, третього і т.д. У результаті дендрит перетворюється на зерно.

2 КРИСТАЛІЗАЦІЯ І БУДОВА МЕТАЛЕВОГО ЗЛИВКА

У структурі зливка розрізняють три основні зони:

- 1) зовнішня зона дрібних рівновісних кристалів;
- 2) зона шестовидних крупних кристалів, витягнутих перпендикулярно до поверхні зливка;
- 3) центральна частина зливка (зона крупних рівновісних кристалів).

Усадочні раковини утворюються завдяки тому факту, що перехід переважної більшості металів з рідкого стану в твердий супроводжується суттєвим зменшенням об'єму.

Поліморфізмом, або алотропією називають здатність металу в твердому стані при зміні температури перебудовувати свою кристалічну решітку. Поліморфні перетворення супроводжуються виділенням або поглинанням теплоти, а також зміною властивостей металу. Різні алотропічні стани називають модифікаціями. Кожній модифікації властиво залишатися стійкою лише в межах визначеного для даного металу інтервалу температур. Алотропічні форми позначають грецькими буквами α, β, γ і т.д. На кривих охолодження і нагріву перехід з одного стану в інший характеризується зупинкою (для чистих металів) або зміною характеру кривої (для сплавів). При алотропічних перетвореннях, окрім змін властивостей (теплопровідність, електропровідність, механічні, магнітні властивості), спостерігають зміни об'єму металу і розчинності (наприклад, вуглецю в залізі). Алотропічні перетворення властиві багатьом металам (Fe, Sn, Ti та ін.).

Для заліза крива охолодження має вигляд, показаний на рис.4.

В інтервалі 911 - 1392°C Fe має ГЦК, а в інтервалі від 0 до 911°C і від 1392°C до 1539°C - ОЦК. Змінюються також магнітні властивості при температурі 768°C.

Fe_{δ} - ОЦК $a = 2,93\text{Å}$,

Fe_{γ} - ГЦК $a = 3,64\text{Å}$ - немагнітні,

Fe_{β} - ОЦК $a = 2,90\text{Å}$ - немагнітні,

Fe_{α} - ОЦК не супроводжується змінами решітки, але змінюються магнітні властивості.

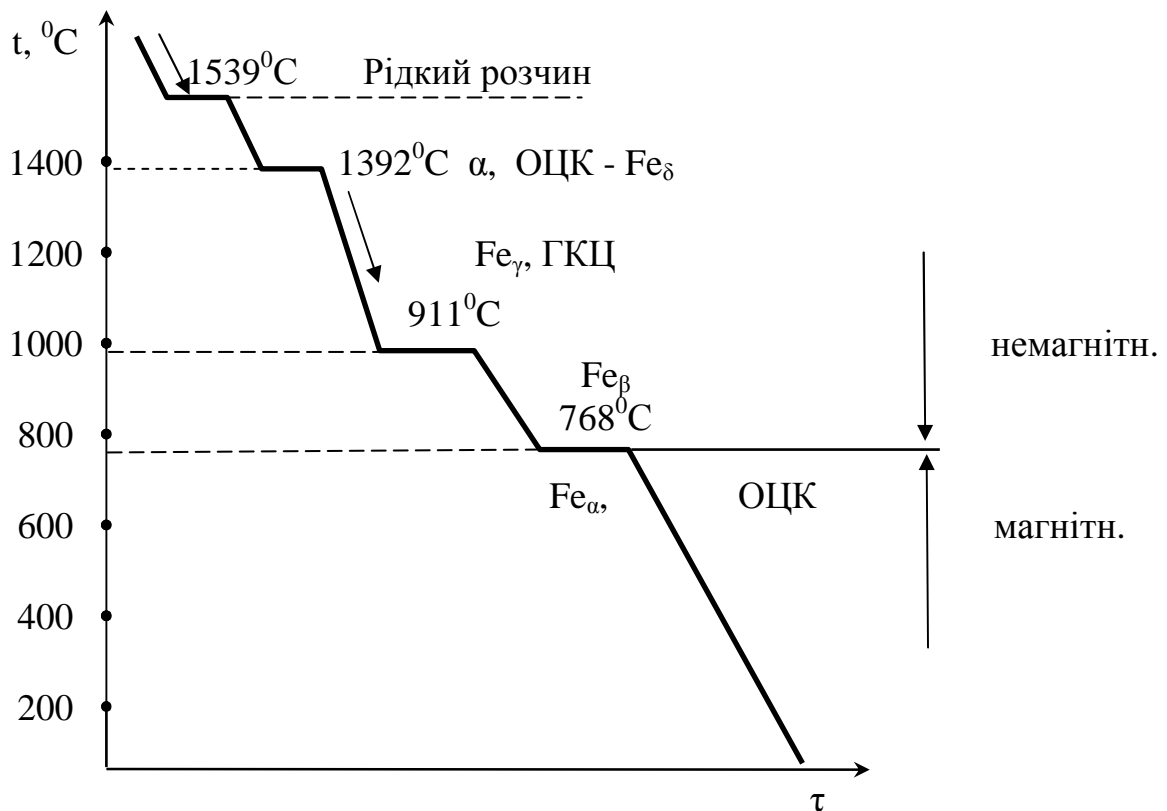


Рис.4 - Крива охолодження заліза

3 МЕТАЛЕВІ СПЛАВИ

Металевий сплав отримують сплавом двох або більше металів; сплавом переважно металів з неметалами; спіканням порошків декількох металів. Отримане з'єднання володіє вищими властивостями, ніж чисті метали.

Елемент, що входить до складу сплаву, називається *компонентом*. Компонент, переважаючий у сплаві кількісно, називається *основним*. Компоненти, що вводяться в сплав для додання йому потрібних властивостей, називаються *легуючими*. Сукупність компонентів сплаву називається *системою*.

Сплави класифікують за числом компонентів - на подвійні (бінарні), потрійні, четверні й багатокомпонентні; за основним елементом - залізні, алюмінієві, магнієві, титанові, мідні і т. д.; за використанням - конструкційні, інструментальні, жароміцні, антифрикційні, пружинні, шарикопідшипникові і т. д.; за щільністю - важкі (на основі вольфраму, ренію, свинцю та ін.), легкі (алюмінієві, магнієві, берилієві та ін.); за температурою плавлення - тугоплавкі (на основі ніобію, молібдену, тінталу, вольфраму та ін.), легкоплавкі (припої, бабіти, друкарські сплави та ін.); за технологією виготовлення напівфабрикатів і виробів - ливарні, деформовані, спечені, гранульовані, композиційні і т.д.

Залежно від природи компонентів і співвідношення їх масової кількості сплави після твердіння можуть утворювати механічні суміші, тверді розчини і хімічні сполуки. Завжди виходять з випадку необмеженої розчинності металів у рідкому стані.

3.1 Взаємодія металів у твердому стані

1. *Механічні суміші* утворюються, коли з рідкого розплаву одночасно випадають кристали складових його компонентів. Це має місце, коли компоненти не здатні до взаємного розчинення у твердому стані або володіють обмеженою розчинністю.

2. *Тверді розчини* утворюються тоді, коли кристали сплаву містять одночасно декілька компонентів, які можуть входити до складу кристалів у довільних вагових кількостях. При утворенні твердих розчинів кристалічна решітка розчинника зберігається, змінюються тільки її параметри. Якщо кристалічні решітки компонентів однакові і атомні розміри відрізняються не більше, ніж на 15%, то такі компоненти утворюють тверді розчини (необмежений розчин).

Розрізняють три типи твердих розчинів:

- 1) заміщення,
- 2) впровадження,
- 3) віднімання.

Тверді розчини заміщення мають три різновиди:

- 1) тверді розчини заміщення необмеженої розчинності;
- 2) тверді розчини заміщення обмеженої розчинності (хоча б одна з перерахованих умов не виконується);
- 3) впорядковані тверді розчини або надструктури, в яких атоми речовини, що розчиняються, займають тільки певні місця в решітці розчинника (CuAg , Cu_3Au).

Тверді розчини впровадження - атоми речовини, які розчиняються, впроваджуються у просторову решітку розчинника. При цьому атоми розчиняючої речовини значно менше атомів розчинника:

$$\frac{d_{\text{розчинююч.}}}{d_{\text{розчинника}}} \leq 0,59$$

Fe , C , N можуть бути тільки обмеженої розчинності.

Тверді розчини віднімання утворюються на основі хімічних сполук, коли в решітці хімічної сполуки не вистачає атомів однієї із складових елементів, наприклад, “Вюстит” твердий розчин O_2 в FeO .

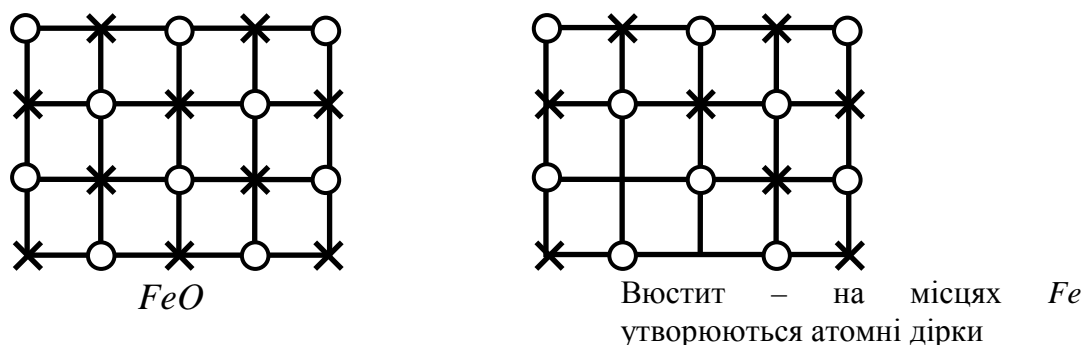
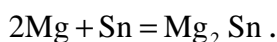
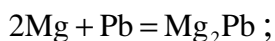
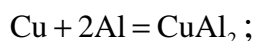


Рис.5 - Решітка твердого розчину «віднімання»

4 УТВОРЕННЯ ХІМІЧНИХ СПОЛУК

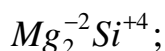
Хімічні сполуки є самостійними елементами. Мають власні решітки, часто не схожі на решітки металів, які утворили дані з'єднання:



Виходить нова речовина, яка має власну просторову решітку, володіє особливими фізико-хімічними властивостями і поводить як чистий елемент.

Хімічні сполуки діляться на дві групи:

1) хімічні сполуки, що підкоряються законам валентності, в молекулі хімічної сполуки число валентних електронів повинне бути однаковим:



2) переважне число інтерметалевих з'єднань не підкоряються законам валентності, ці хімічні сполуки виділяють в особливу групу- група проміжних фаз (їх багато типів).

Правило фаз - встановлює залежність між числом компонентів, числом змінних зовнішніх факторів рівноваги і числом фаз:

$$C = K + P - \Phi ,$$

де C - число ступенів свободи - це число зовнішніх і внутрішніх чинників рівноваги, які можна змінювати, не змінюючи стан системи.

1. X - внутрішні фактори (концентрація або склад);

2. t°
3. P } зовнішні фактори.

Фаза - це однорідна складова в неоднорідній системі, відокремлена фізичною щільністю розділу.

Компонент - складова системи. Можуть бути чисті метали й стійкі хімічні сполуки.

$$C = K + 1 - \Phi \text{ - для металів.}$$

5 ОСНОВНІ ТИПИ ДІАГРАМ СТАНУ СПЛАВІВ

Для характеристики змін структури сплавів залежно від складу і температури будують діаграми стану. Вони є графічним зображенням рівноважного або нерівноважного стану сплавів, будують їх в координатах температура - стан.

Знання діаграм стану дозволяє науково обґрунтовано вибирати сплави із заданими властивостями, режими литва, термічної обробки і обробки тиском.

Діаграми стану звичайно будують за допомогою термічного методу аналізу. Суть цього методу - визначення критичних точок.

Будують криві охолодження, які виражають графічну залежність між зміною температури металу (сплаву) при охолодженні й часом, протягом якого ці зміни відбуваються. Ці криві будують в координатах: $t^{\circ}\text{C}$ - вісь ординат, τ (час охолодження) - вісь абсцис.

Фазові перетворення в металах і сплавах супроводжуються тепловими ефектами і на кривих охолодження можна спостерігати зупинки (площадки) або перегини. Поява площадок говорить про те, що фазові перетворення відбуваються при постійній температурі. Перегини з'являються в результаті зміни швидкості охолодження, в цьому випадку фазові перетворення протікають в інтервалі температур.

Деякі критичні точки, визначені при нагріві й охолодженні, мають різну температуру. Тому вводять два умовних знаки:

r - якщо критичні точки визначені при охолодженні;

C - при нагріві.

Критичні точки в сплавах заліза з вуглецем позначають буквою A із значком C або r :

$$A_{C2} - Fe_{\alpha} - Fe_{\beta}; A_{C3} - Fe_{\beta} - Fe_{\gamma}; A_{C4} - Fe_{\gamma} - Fe_{\sigma};$$

$$A_{r2} - Fe_{\beta} - Fe_{\alpha}; A_{r3} - Fe_{\gamma} - Fe_{\beta}; A_{r4} - Fe_{\sigma} - Fe_{\gamma}.$$

Початок і кінець фазових перетворень температури, визначувані за кривими охолодження, називаються *критичними*. Відповідні їм точки на кривих охолодження називаються *критичними точками*. На основі кривих охолодження будується діаграма стану сплавів.

Діаграма стану подвійних сплавів I-го типу, які утворюють при твердінні механічну суміш, характеризує сплави, компоненти яких в рідкому стані необмежено розчинні один в одному, а в твердому стані не розчинні і не

утворюють хімічної сполуки. Приклади: $Pb - Sb$; $Pb - Sn$; $Zn - Sn$. Ці діаграми утворюють *евтектику*.

Евтектика - це механічна суміш кристалів, що утворилася в результаті їх одночасної кристалізації. Евтектика володіє трьома основними властивостями:

- 1) постійна концентрація або склад;
- 2) постійна температура кристалізації;
- 3) найнижча температура кристалізації в даній системі сплаву.

Лінія ABC (ліквідус) - геометричне місце точок початку кристалізації.

Лінія EBD (солідус) - геометричне місце точок кінця кристалізації сплаву.

Це ж лінія евтектики.

Приклад побудови діаграми $Pb - Sb$

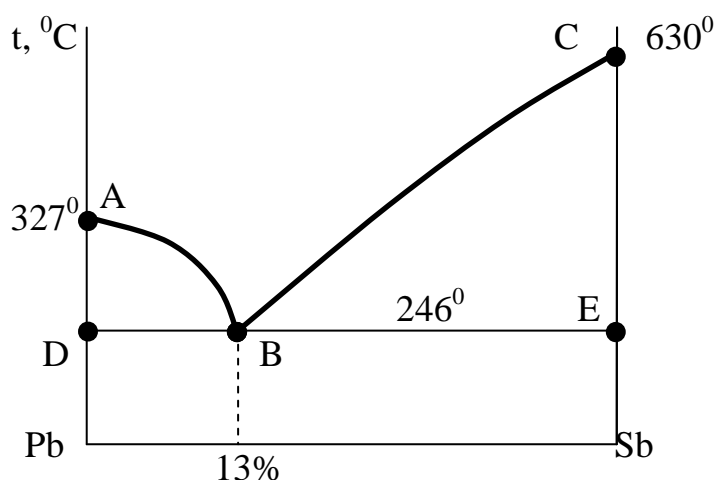


Рис.6 - Діаграма стану сплавів I типу

Сплави, що кристалізувалися за такою діаграмою, діляться на три групи:

- 1) *евтектичні* - концентрація точки В. Їх структура - евтектика;
- 2) *доевтектичні* - сплави, розташовані зліва від точки В. Їх структура - кристали Pb + евтектика;
- 3) *заевтектичні* - сплави, розташовані праворуч від точки В. Їх структура - кристали Sb + евтектика.

Кристали Pb і Sb , що випадають самостійно, називаються структурно-вільними, а що випали одночасно в евтектиці, називаються структурно-зв'язаними, оскільки вони разом утворюють одну структуру.

Структурна складова - це окрема відособлена частина сплаву, що має під мікроскопом певну будову з властивими їй особливостями.

Структура і фаза - це різні поняття, що правда, вони іноді співпадають.

Діаграма стану подвійних сплавів II-го типу - характеризує сплави, компоненти яких володіють повною взаємною розчинністю, як в рідкому, так і в твердому стані і не утворюють хімічних сполук. Приклад: $Cu - Ni$; $Fe - Ni$; $Fe - Cr$; $Bi - Sb$ та інші. Розглянемо $Cu - Ni$.

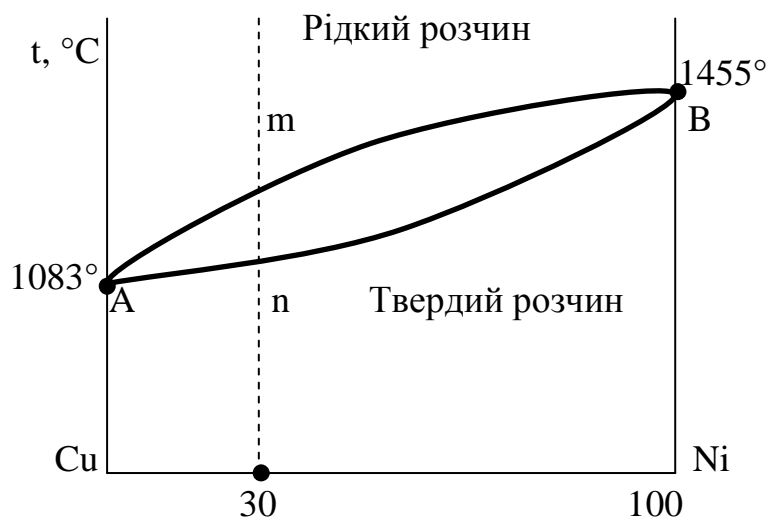


Рис.7 - Діаграма стану сплавів II типу

Лінія AmB - лінія ліквідус, лінія AnB - лінія солідус, нижче за цю лінію сплави знаходяться у вигляді твердого розчину. Між лініями ліквідус і солідус знаходиться двофазна область, в якій одночасно існують кристали твердого розчину і рідкі розчини. Бувають випадки розпаду твердих розчинів з утворенням евтектоїда і перетектоїда, а також інші випадки, що вказують на перетворення у твердих сплавах (поліморфні).

Діаграма стану сплавів з обмеженою розчинністю у твердому стані III-го типу характеризує сплави, в яких обидва компоненти необмежено розчинні в рідкому стані, обмежено - в твердому і утворюють при кристалізації евтектику. Приклад: $Al - Cu$; $Fe - C$; $Mg - Al$; $Mg - Zn$ та ін.

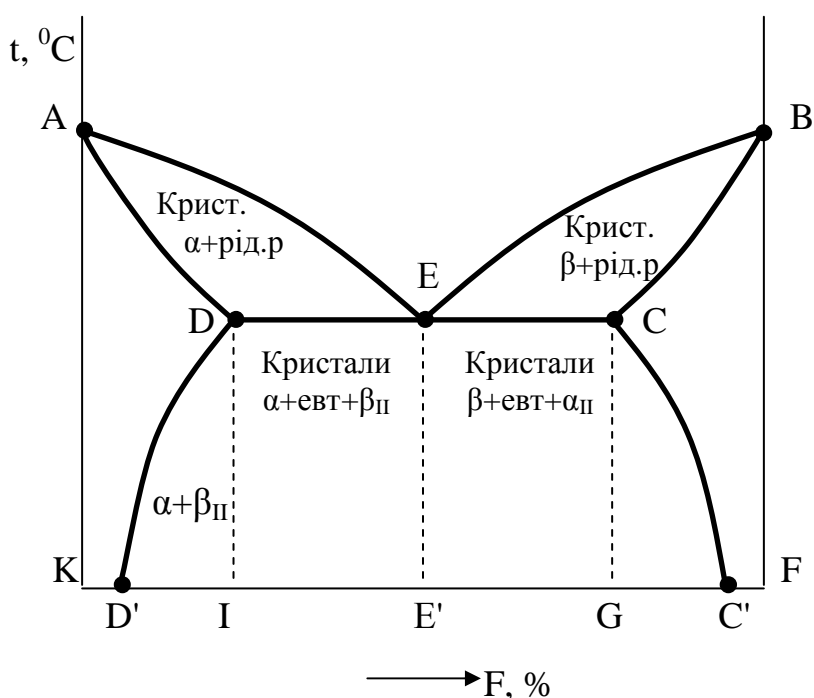


Рис.8 - Діаграма стану сплавів III типу

Лінія AEB - лінія ліквідус, вище за неї всі сплави в рідкому стані. Лінія $ADECB$ - лінія солідус, нижче за цю лінію всі сплави в твердому стані.

По лінії AE виділяються кристали твердого розчину компонента F в K , якому присвоєна назва твердого α - розчину. По лінії BE виділяються кристали твердого розчину K в F , який позначають β - розчин. Гранична розчинність F в K визначається лінією DD' , а гранична розчинність K в F - лінією CC' .

Як видно з діаграми, розчинність F в K і K в F міняється із зміною температури. Може бути такий випадок, коли компонент F розчинений в K , і розчинність змінюється із зміною температури (лінія DD'), розчинність K в F не змінюється із зміною температури (лінія CG). Область $ADEA$ є рідкий розчин і кристали твердого α - розчину; область $BECB$ - рідкий розчин і кристали твердого β - розчину; область $ADD'KA$ - кристали твердого α - розчину; область $BCC'FB$ - кристали твердого β - розчину; область $DEE'I$ - евтектика, кристали α - розчину і β_{II} - фази; область $ECGE'$ - евтектика, кристали β - розчину і α_{II} - фази.

Діаграма стану із стійкою хімічною сполукою IV типу - характеризує сплави, компоненти яких необмежено розчинні в рідкому стані, не розчинні в твердому і утворюють стійку хімічну сполуку.

Приклад: $Mg - Cu$.

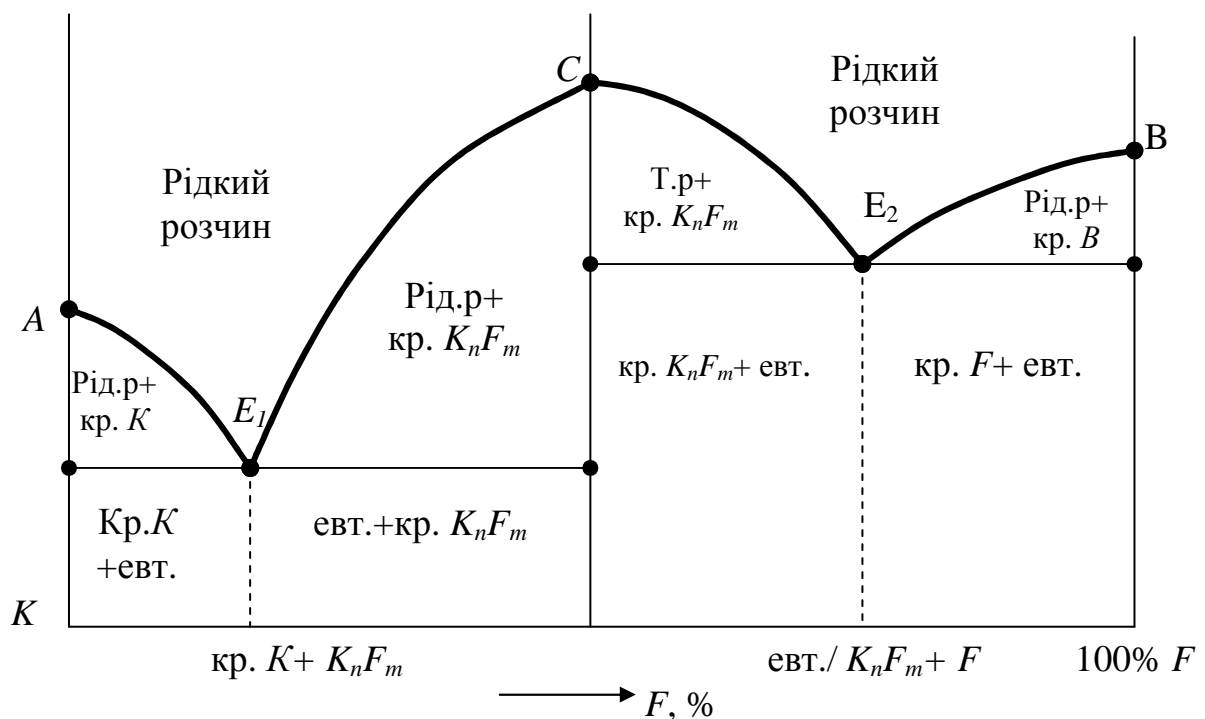


Рис.9 - Діаграма стану сплавів IV типу

Лінія AE , CE_2B - лінія ліквідус. Ця діаграма складена з двох діаграм першого типу. Хімічній сполуці $K_n F_m$ відповідає точка C . На діаграмі евтектичний сплав, відповідний точці E_1 , є механічною сумішшю кристалів K

хімічної сполуки $K_n F_m$, а евтектичний сплав, відповідний точці E_2 , - сумішшю кристалів F і хімічної сполуки $K_n F_m$. Фазовий склад за діаграмою визначається за аналогією з діаграмою I-го типу.

5.1 Правило фаз і відрізків

Коли прийняти, що всі перетворення відбуваються при постійному тискові, рівняння набуде вигляду: $C = K + 1 - \Phi$, де 1 - зовнішній змінний фактор (температура).

Користуючись правилом фаз, розглянемо, як відбувається зміна числа ступенів свободи однокомпонентної системи для випадку розплавленого чистого металу ($K=1$; $\Phi=1$): $C=1-1+1=1$, тобто температуру можна змінювати, не міняючи числа фаз. Такий стан системи називають «моноваріантним» (одноваріантним).

У процесі кристалізації $\Phi=2$ (дві фази - рідка і тверда), а $K=1$, тоді $C=1+1-2=0$. Це означає, що дві фази знаходяться в рівновазі при строго певній температурі (температура плавлення), і вона не може бути змінена, поки одна з фаз не пропаде. Такий стан системи називають «нонваріантним» (безваріантним). Для двокомпонентної системи, що знаходиться в рідкому стані ($K=2$; $\Phi=1$), правило фаз Гіббса має вигляд: $C=2+1-1=2$, така система називається «біваріантною» (двоваріантною). У цьому випадку можлива зміна двох факторів рівноваги (температури і концентрації), число фаз при цьому не міняється.

Для цієї ж системи при існуванні двох фаз (рідкої або твердої) $K=2$; $\Phi=2$, згідно з правилом фаз $C=2+1-2=1$, тобто із зміною температури концентрація повинна бути строго визначеною.

Для характеристики будови сплавів важливим є кількісне визначення їх складових. Якщо подивитися діаграму $Pb - Sb$, то видно, що всі заевтектичні сплави в твердому стані складаються з кристалів Sb і евтектики, але їх кількість залежно від складу буде різною, отже і властивості цих сплавів будуть різними.

Для визначення кількості складових користуються «правилом відрізків». З точки K проводять перпендикуляр, відповідний сплаву 80% Sb і 20% Pb . Потім при заданій температурі t через точку d проводять горизонтальну пряму до перетину з лініями, що обмежують дану область діаграм, отримуючи точки e і b . Якщо позначити масу рідини буквою $Ж$, а масу всього сплаву буквою B , то можна записати:

$$\frac{Ж}{B} = \frac{db}{eb}.$$

Якщо масу всього сплаву прийняти за 100%, то кількість рідкої фази визначається співвідношенням

$$Ж = 100\% \cdot (db / eb).$$

Аналогічно для твердої фази: $T = 100\% \cdot (ed / eb)$. Перпендикуляр $I - I$ ділить лінію eb на 60 одиниць (від 40 до 100%) по осі концентрацій на відрізки $ed = 40$ од. і $db = 20$ од. Таким чином, з наведених виразів знаходимо, що шуканий сплав при температурі t містить 33% рідкого сплаву і 67% твердої фази.

Правило відрізків дозволяє також визначити концентрацію компонентів у фазах. Так, вище за точку L сплав знаходиться в однофазному стані, і концентрація компонентів у рідкому сплаві визначається проекцією цієї точки на вісь концентрацій. При температурі t концентрація Sb в рідині визначається проекцією точки L . Кристали, які виділяються, є чистою сурмою, оскільки точка b лежить на вертикальній осі $Sb - 100\%$.

Таким чином, «правило відрізків» дозволяє вирішити:

- 1) які існують фази дво- і багатофазних областей;
- 2) визначити хімічний склад або концентрацію фаз для певних температур;
- 3) встановити кількісне співвідношення між фазами.

Для визначення того, які існують фази, з точки K треба по горизонталі (по ізотермі) піти вліво і вправо до перетину з першими лініями діаграми і подивитися, які однофазні області визначають ці лінії. Ці фази і існуватимуть. Хімічний склад фаз: точка перетину ізотерми з лінією ліквідус L показує хімічний склад рідкої фази і визначається кількісним співвідношенням

$$\frac{Ql}{Qs} = \frac{kS}{kl},$$

де Q - вага всього сплаву;

Ql - вага рідкої фази;

Qs - вага твердої фази.

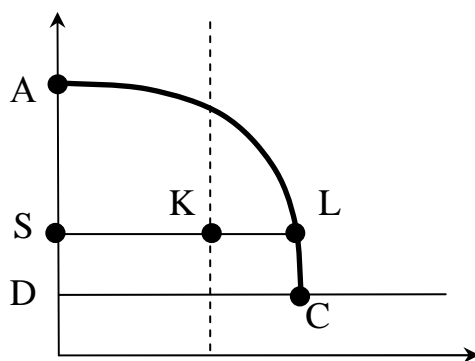


Рис.10 - «Правило відрізків»

Кількісне співвідношення між фазами обернено пропорційно до прилеглих відрізків:

$$Ql = Q \cdot \frac{kS}{kl};$$

$$Qs = Q \cdot \frac{kl}{kS}.$$

5.2 Зв'язок властивостей сплавів з типом діаграм станів

Зв'язок властивостей сплавів з типом діаграм стану вперше показав Н.С. Курніков, далі роботи в цьому напрямку проводив А.А. Бочвар.

По осях ординат на графіках відкладають властивості сплавів (твердість, міцність, електропровідність та ін.), а по осях абсцис - зміст компонента $F\%$.

I. У разі утворення механічної суміші властивості сплавів міняються за лінійним законом.

II. У разі утворення твердих розчинів властивості змінюються за криволінійною залежністю. При невеликих добавках другого твердого компонента електроопір стає вищим, ніж властивості компонентів, електропровідність і магнітна проникність знижуються.

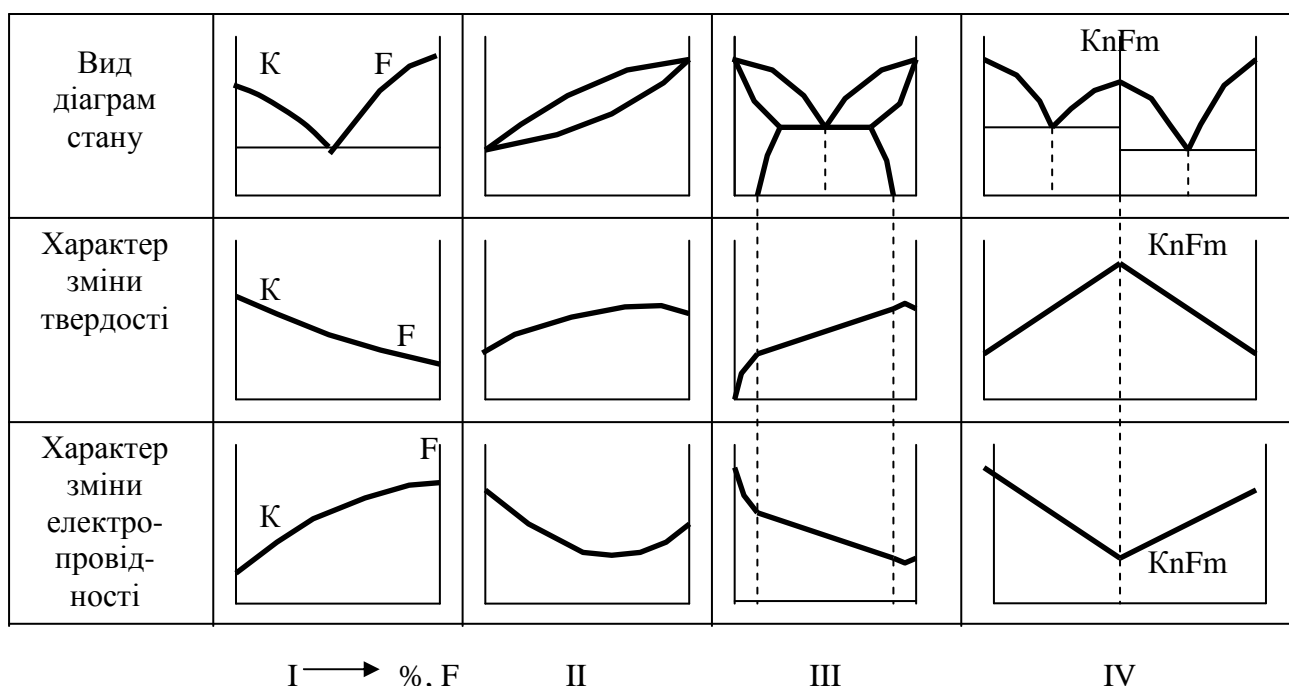


Рис.11 - Зв'язок властивостей сплавів з типом діаграм станів

III. Обмежені тверді розчини. Властивості однофазних твердих розчинів змінюються за криволінійною залежністю, а двофазних - за прямолінійним законом.

IV. Утворення хімічних сполук - властивості змінюються стрибком. Хімічна сполука відповідає *max* або *min* властивостям на прямій. Ця точка називається «*сингулярною точкою*».

Знаючи діаграму стану, можна визначити і технологічні властивості сплаву (ливарний, обробка різанням та ін.). Наприклад, тверді розчини мають низькі ливарні характеристики, а двофазні, особливо евтектичні - хороші ливарні властивості. Краще деформуються в холодному і гарячому стані однофазні сплави. Двофазні сплави легко обробляти різанням. В однофазних сплавів краща координатна стійкість.

6 ДІАГРАМА СТАНУ “Fe - C”

Залізо (*Fe*) належить до металів, що зазнають алотропічні перетворення, в цьому його цінність. 1539 °С - температура плавлення заліза, щільність - 7,8 мг/м³.

Залізо з вуглецем утворює хімічну сполуку Fe₃C - цементит - 6,67%С, це метастабільна фаза, може розпадатися з виділенням вільного вуглецю. Температура кристалізації цементиту 1535 °С. Решітка цементиту ромбічна ($a \neq b \neq c$); $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

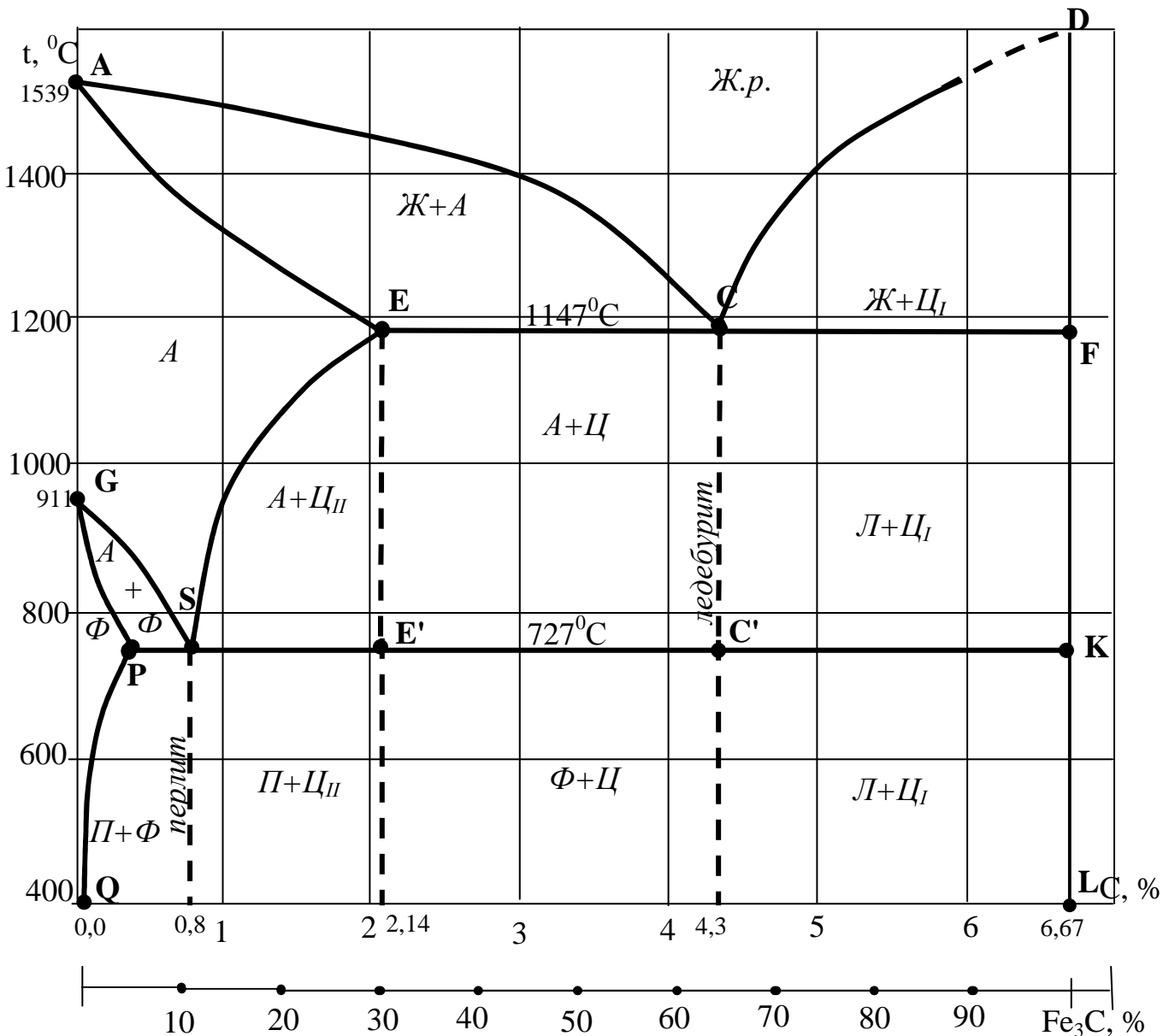


Рис.12 - Діаграма стану “Fe - C”

Вуглець в деяких модифікаціях Fe обмежено розчиняється. 1-й розчин - ферит - твердий розчин C в Fe_{α} .

Максимальна розчинність C в Fe_{α} - 0,02% при $t=723^{\circ}C$.

При кімнатній температурі ($20^{\circ}C$) розчинність падає до 0,006%.

2-й розчин Fe_{β} - практично не розчиняє вуглець.

3-й розчин A - аустеніт - твердий розчин C в Fe_{γ} .

2% C - максимальна розчинність при $t=1130^{\circ}C$.

4-й розчин - Fe_{δ} , максимальна розчинність $C \approx 0,1\%$ при $1485^{\circ}C$.

Основою для визначення структури і властивостей залізовуглецевих сплавів є діаграма стану “залізо-вуглець” (цементит). Представимо її спрощений варіант, вісь концентрацій подвійна, вона відображає вміст вуглецю і цементиту.

Діаграма $Fe-Fe_3C$ є діаграмою метастабільної рівноваги. Залежно від вмісту C і температури залізовуглецеві сплави утворюють ряд структурних складових (фаз) - ферит (Φ), аустеніт (A), цементит ($Ц$), графіт ($Гр$), перліт ($П$), ледебурит ($Л$).

Графіт є вільний вуглець, він м'який, володіє низькою міцністю і електропровідністю. У чавунах і графітізованих сталях міститься у вигляді включень. Форми графітових включень впливають на механічні й технологічні властивості сплавів.

Перліт - евтектоїдна механічна суміш фериту і цементиту, яка містить 0,83% C ; утворюється при $727^{\circ}C$ в результаті розпаду аустеніту в процесі його охолодження $Fe_{\gamma}(C) \rightarrow Fe_{\alpha}(C) + Fe_3C$. Перліт буває пластинчастий і зернистий, що визначає механічні властивості сплавів заліза.

При кімнатній температурі зернистий перліт має міцність $\sigma_B = 800 MPa$, пластичність $\delta \approx 15\%$, твердість HB160-200.

Ледебурит - механічна суміш (евтектика) аустеніту і цементиту, що утворюється з рідкого розплаву при $1147^{\circ}C$ і при вмісті 4,3% C . Твердість HB 600-700, крихкий. Оскільки при температурі нижче евтектоїдної (нижче $727^{\circ}C$) аустеніт перетворюється на перліт, то ледебурит нижче евтектоїдної прямої EK складається з цементиту і перліту.

Окрім згаданих складових у сплавах $Fe-C$ можуть бути неметалічні включення (з'єднання CO_2 , N_2 , S , P та ін.), які із залізом утворюють різні фази.

Критичні точки на лініях діаграми прийнято позначати буквою A з індексом - r (при охолодженні) і C (при нагріві). При індексах ставлять цифру, що вказує положення цієї точки на лініях $211^{\circ}C$ - AC_3 - при нагріві і Ar_3 - при охолодженні.

Точка A на діаграмі відповідає температурі плавлення заліза, точка D - цементиту. У точці C (4,3% C і $1147^{\circ}C$) утворюється евтектика (ледебурит).

Лінія ACD - лінія ліквідус (вище за неї існує рідкий розчин L) показує початок первинної кристалізації; по лінії AC з рідкого розчину починає кристалізуватися аустеніт, а по лінії CD - цементит. Тому в області ACE існує

рідкий розчин і кристали аустеніту ($L+A$), а в області CDF - рідкий розчин і кристали цементиту ($L+Ц_i$).

Точка E показує максимальну розчинність вуглецю в аустеніті при 1147°C , вона прийнята межею ділення залізовуглецевих сплавів на сталі (до $2,14\%\text{C}$) і чавуни (зверху $2,14\%\text{C}$).

Лінія $AECF$ - лінія солідус - характеризує кінець первинної кристалізації. Вона також є початком вторинної кристалізації (перекристалізації), характерна для твердої фази. Пряма ECF називається лінією евтектичних перетворень.

Алотропія (поліморфізм) заліза визначає перетворення у сталях при їх охолодженні від аустенітного стану. Точка G діаграми відповідає температурі алотропічного перетворення чистого заліза (911°C). З підвищенням вмісту вуглецю до $0,8\%$ температура перетворення аустеніту у ферит, поступово знижуючись, досягає 727°C . Лінія GS - початок, лінія GP - кінець перетворення аустеніту у ферит (Φ). Лінія GS може розглядатися як геометричне місце точок AC_3 , Ar_3 . У точці S (з концентрацією $0,8\%\text{C}$ і температурою 727°C) протікає реакція розпаду аустеніту, продуктом якої є евтектоїдна суміш, що називається перлітом. Тому пряма PSK називається прямою евтектоїдних перетворень, крім того, вона є геометричним місцем точок AC , і Ar . В області GSP існують аустеніт і ферит ($A+\Phi$), а в області QPS - перліт і ферит ($\Pi+\Phi$).

Лінія SE є лінією обмеженої розчинності вуглецю в аустеніті; із зниженням температури розчинність падає з $2,14$ до $0,8\%\text{C}$. У зв'язку з цим у сплавах при їх охолодженні надмірний вуглець виділяється з аустеніту у вигляді карбіду заліза Fe_3C . Тому в області SEE' існують аустеніт і цементит вторинний ($A+Ц_{II}$). Він називається вторинним тому, що утворюється з твердої фази. Крива SE також є геометричним місцем точок Acm , Arm . В області $0,8 SE' 2,14$ існує перліт і цементит ($\Pi+Ц_{II}$).

Залежно від вмісту вуглецю сталі діляться доевтектоїдні ($C<0,8\%$), їх можна також назвати конструкційними; евтектоїдні ($C=0,8\%$) і заевтектоїдні ($C>0,8\%$), останні дві групи можна назвати інструментальними сталями.

Структура доевтектоїдних сталей складається з фериту (білі включення) і перліту (темні включення). Із збільшенням вмісту вуглецю кількість фериту зменшується, а перліту - збільшується. Структура евтектоїдної сталі складається з перліту, а заевтектоїдних - з перліту (темні ділянки) і цементиту (світлі ділянки у вигляді сітки або голок).

У чавунах первинний аустеніт і аустеніт у складі евтектики до кінця кристалізації містять максимальну кількість вуглецю $2,14\%$. Із зниженням температури до 1147°C і більш надмірний вуглець (по лінії SE) випадає з аустеніту у вигляді вторинного цементиту. Тому в області $ECC'E'$ існує аустеніт, ледебурит і вторинний цементит ($A+Л+Ц_{II}$), а в області $CFKC'$ - ледебурит і первинний цементит ($Л+Ц_I$). По прямій PSK і в чавунах аустеніт характеризується перлітовим перетворенням. Звідси в області $2,14 E'C'$, $4,3$ існує перліт, ледебурит і вторинний цементит - ($\Pi+Л+Ц_{II}$), а в області $C'K$ $6,67$ $4,3$ - ледебурит і первинний цементит ($Л+Ц_I$). Лінія $GPSK$ є кінцем вторинної кристалізації залізовуглецевих сплавів.

Залежно від вмісту С чавуни діляться на доевтектичні ($2,14 < C < 4,3$) евтектичні ($C = 4,34\%$) і заевтектичні ($C > 4,3\%$).

Структура білих чавунів складається з перліту, ледеburиту і цементиту. Свою назву білі чавуни отримали за виглядом зламу - матово-білий колір.

Структура доевтектичного чавуну при кімнатній температурі складається з ледеburиту, перліту і вторинного цементиту (ледеburит - світлі ділянки з розташуванням на них зерен перліту; перліт - крупніші темні зерна; вторинні цементит - світлі ділянки, що зливаються з цементитом ледеburиту).

Структура евтектичного чавуну складається з перліту і первинного цементиту (у вигляді крупних світлих довгастих кристалів). Структура заевтектичного чавуну складається з ледеburиту і первинного цементиту (у вигляді крупних сірих смуг).

7 ОСНОВИ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

7.1 Термічна обробка

Термічною обробкою (Т.о.) називають процеси, пов'язані з нагрівом і охолодженням металу, що знаходиться у твердому стані, з метою зміни структури і властивостей без зміни хімічного складу.

Т.о. характеризують такі параметри: нагрів до певної температури, витримка при цій температурі, швидкість нагріву і швидкість охолодження.

Залежно від температурних режимів Т.о. підрозділяється на види: відпал, нормалізація, гартування, відпуск, хіміко-термічна обробка, термомеханічна обробка.

Залежно від схильності до зростання аустенітного зерна при нагріві сталі бувають дрібно- і грубозернистими. Дрібнозернисті сталі в інтервалі температур нагріву $950-1000^{\circ}\text{C}$ майже не змінюють величину зерна. У грубозернистих сталей зростання зерна починається відразу після переходу через критичну точку.

Можливість зміцнення сталей шляхом Т.о. обумовлена наявністю у них алотропічних перетворень у твердому стані. Охолоджуючи аустеніт з різними швидкостями і викликаючи тим самим різний ступінь переохолодження, можна отримати продукти розпаду аустеніту, що різко відрізняються за будовою і властивостями.

Уявлення про перетворення переохолодженого аустеніту можна отримати з діаграми його ізотермічного перетворення (рис.13).

Крива 1 відповідає початку розпаду аустеніту при різних ступенях переохолодження; лівіше за неї знаходиться переохолоджений аустеніт (область А).

Крива 2 показує закінчення процесу розпаду аустеніту на феритоцементитну суміш (область П).

Горизонтальна пряма M_H характеризує початок, а пряма M_K - кінець бездифузійного перетворення аустеніту в мартенсит. На діаграмі показані криві швидкостей охолодження сталі. Мала швидкість охолодження V_1 приводить до утворення грубої суміші фериту і цементиту. Чим більше швидкість охолодження, тим більше дрібнодисперсійна феритоцементитна суміш, що утворюється.

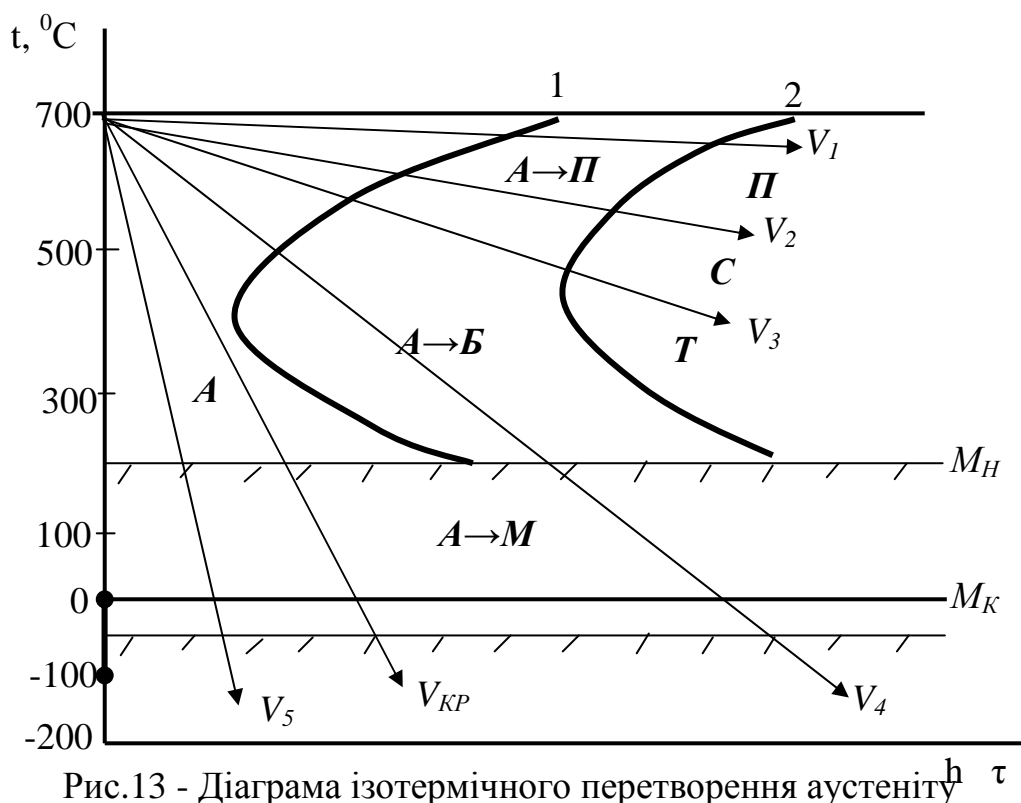


Рис.13 - Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту

Сорбіт (перша гартувальна структура), який отримують при швидкості охолодження сталі V_2 , є сумішшю фериту і цементиту; він відрізняється від перліту більш тонкодисперсною будовою, його твердість HRC20. Сталі із структурою сорбіту більш зносостійкі, використовуються для виготовлення навантажених деталей машин.

Троостіт (друга гартувальна структура) отримують при швидкості охолодження V_3 в результаті розпаду переохолодженого аустеніту при 500-550 °C, володіє значною пружністю; є тонкодисперсною сумішшю фериту і цементиту. Твердість його HRC~30. Сталі з такою структурою відрізняються високими значеннями міцності й пружності. Їх використовують для виготовлення пружин і ресор.

Перетворення аустеніту на мартенсит відбувається при дуже швидкому охолодженні ($V_5 > V_{кр}$). При цьому фіксується типова для мартенситу голчаста структура. Mrt - є пересичений твердий розчин вуглецю в залізі α . Процес йде за бездифузійним механізмом. Це тверда і крихка складова структур, HRC ~ 62 - 66. При швидкості V_4 структура сталі складається з троостіту і мартенситу.

7.2 Відпал. Нормалізація

Відпал - нагрів сталі вище за критичні температури (A_{C1} ; A_{C3}), витримці при даній температурі і повільному охолодженні (звичайна разом з піччю).

Залежно від вимог, що ставляють до властивостей сталі, розрізняють наступні види відпалу: дифузійний (гомогенізація), повний, неповний (для заєвтектоїдних сталей називається *сфероїдизацією*), ізотермічний, низький.

Мета відпалу - усунути внутрішнє напруження, подрібнити зерно, додати сталі пластичність перед подальшою обробкою і привести структуру в рівноважний стан.

Дифузійний відпал проводять при темепатурі 1100-1200 °С протягом 30-50 год. для усунення дендритної ліквації.

Повний відпал застосовують для конструкційних сталей. Нагрів на 30-50 °С вище за точку A_{C3} з подальшим повільним охолодженням, що забезпечує перетворення аустеніту на феритоцементитну суміш в області температур, близьких до A_{C1} .

Інструментальні сталі нагрівають на 30-50 °С вище A_{C1} - неповний відпал (для заєвтектоїдних сталей). Цей відпал на зернистий перліт проводять з метою зниження твердості для кращої обробки різанням і підготовки структури до гартування.

При ізотермічному відпалі конструкційну сталь нагрівають до температури на 30-50 °С вище A_{C3} , а інструментальну - вище A_{C1} на 50-100 °С, потім йде витримка і повільне охолодження в розплавленій солі до температури, що нижче A_{r1} (680-700 °С). При цій температурі сталь піддають ізотермічній витримці, при якій відбувається повне перетворення аустеніту на перліт з подальшим охолодженням на повітрі.

При холодній пластичній деформації сталь зміцнюється за рахунок наклепу (нагартовки). При цьому відбуваються структурні зміни, утворюються спотворення кристалічної решітки. При необхідності для зняття наклепу проводять *відпал рекристалізації*, що є різновидом *низького відпалу*. А.А. Бочвар встановив зв'язок між температурою рекристалізації і температурою плавлення, а саме

$$t_{pk} = \alpha \cdot t_{nl} ,$$

де t_{pk} - абсолютна температура рекристалізації;

t_{nl} - абсолютна t плавлення;

α - коефіцієнт (для технічно чистих металів складає 0.3-0.4, а для сплавів – 0.5-0.6).

Нормалізацією сталі називається нагрів доєвтектоїдної сталі вище за точку A_{C3} , евтектоїдної вище A_{C1} , заєвтектоїдної вище за точку A_{cm} на 30-50 °С, витримка і подальше охолодження на повітрі.

Після нормалізації вуглецеві сталі мають ту ж структуру, що і після відпалу, але перліт більш дисперсний. Мета нормалізації доєвтектоїдних і

евтектоїдних сталей та ж, що і повного відпалу. Проте після нормалізації твердість і міцність сталі будуть вище, ніж при відпалі. Нормалізацію застосовують для усунення грубозернистої структури, вирівнювання механічних властивостей. У заевтектоїдних сталях нормалізація усуває цементитну сітку.

Нормалізація - дешевший і простий вид Т.О. На машинобудівні заводи вуглець сталі поставляють з відносно невисокою твердістю для того, щоб забезпечити хорошу обробку різанням. Конструкційні сталі поставляють в відпаленому або нормалізованому стані, інструментальні - після сфероїдизуючого відпалу.

7.3 Гартування і відпуск

Зміцнююча термічна обробка - гартування, для вуглецевих сталей з вмістом вуглецю більше 0,3% з подальшою відпуском.

Гартування - процес нагріву сталі вище за точку A_{c3} (повний гартування) або A_{c1} (неповний) на 30-50 °С з подальшим швидким охолодженням. **Мета гартування** - отримання високої твердості і заданих фізико-механічних властивостей. Здатність сталі приймати гартування зростає із збільшенням вмісту в ній вуглецю. При вмісті менше 0,2%С сталь практично не гартування (рис.14).

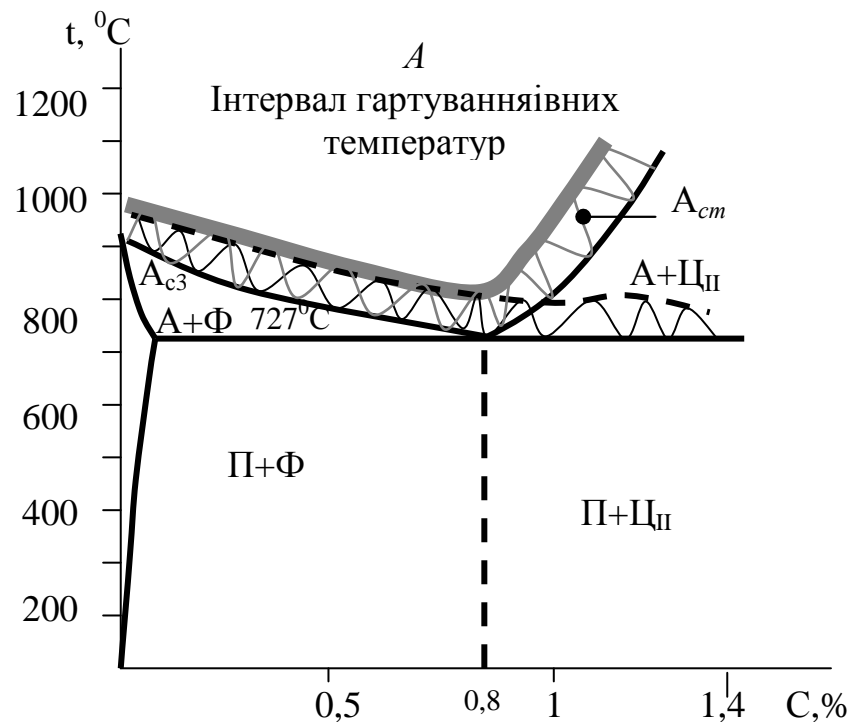


Рис.14 - Діаграма інтервалів гартування температур для гартування залізовуглецевих сталей

Доевтектоїдні сталі піддаються повному гартуванню. Після охолодження у воді в структурі утворюється дрібногольчастий мартенсит і невелика кількість залишкового аустеніту (1-2%). Нагрів сталі при гартуванні значно вище критичної точки A_{C3} (на 150-200 °С) приводить до її перегріву. В результаті виходить великогольчастий мартенсит, і сталь набуває зниженої ударної в'язкості. Нагріваючи доевтектоїдні сталі вище за точку A_{C1} , але нижче за точку A_{C3} приходять до неповного гартування. У структурі такої сталі разом з мартенситом присутні ділянки фериту.

Якщо заевтектоїдну сталь нагрівати вище за точку A_{cm} , то в структурі її буде великогольчастий мартенсит з підвищеною кількістю залишкового аустеніту, що призведе до зниження твердості сталі. Тому всі заевтектоїдні сталі піддають неповному гартуванню, отримуючи в структурі мартенсит і цементит.

Швидкість нагріву і час витримки деталей залежать від розмірів, маси деталей, їх конфігурації, хімічного складу, від типу нагрівальних пристроїв і нагрівальних середовищ.

При гартуванні як охолоджуючий засіб використовують воду, мастила, розплавлені солі й метали. Для гартування суттєве значення має швидкість охолодження в інтервалі температур, де аустеніт найменш стійкий (650-550 °С). Цей інтервал треба пройти швидко. Важливе значення має і інтервал 300-250 °С, коли відбувається утворення мартенситу. У цьому районі температур потрібне повільне охолодження, щоб уникнути виникнення напруження і гартування тріщин.

Способи гартування: Гартування в одному охолоджувачі, застосовують для нескладних деталей з вуглецевих і легованих сталей.

Гартування у двох середовищах (переривчасте гартування). Спочатку в швидко охолоджуючому середовищі (вода), а потім переносять в інше середовище (мастило, селітра, повітря), де відбувається охолодження до кімнатної температури. Застосовують для інструменту з високолегованої сталі.

Ступінчасте гартування - нагріта деталь охолоджується в середовищі при t^0 230-250 °С, а потім після невеликої витримки охолоджується на повітрі.

Ізотермічне гартування - аустеніт розпадається на високодисперсну суміш фериту і карбід заліза - бейніт.

Гартування з обробкою холодом - охолодження нижче 0 °С деталей із загартуванням сталі, що має в структурі залишковий аустеніт ~70 °С. Застосовується для високовуглецевих >0,6%С і спеціальних сталей (інструмент, шарикопідшипникові сталі).

Дефекти гартування: недогрів, перегрів, перепал, знеуглецювання, викривлення, тріщини.

Є дефекти, що усуваються (відпал, перегартування, рихтування і т.д.), і є непоправні - перепал, тріщини і т.п.

Відпуск - нагрів сталі нижче за температуру точки A_{C1} з витримкою при даній температурі і подальшим охолодженням. *Мета відпуску* - перевести

структури в більш рівноважний стан, зменшити напруження, отримати необхідне поєднання фізико-механічних властивостей.

Основне перетворення при відпуску - розпад мартенситу, тобто виділення вуглецю з пересиченого твердого розчину у вигляді найдрібніших кристалів карбиду заліза.

Розпад мартенситу завершується при температурі $\sim 400^{\circ}\text{C}$, утворену феритоцементитну суміш називають *трооститом відпуску*. При вищій температурі нагріву відбувається коагуляція кристалів карбиду заліза, дисперсність феритоцементитної суміші знижується і при температурі $500-650^{\circ}\text{C}$ утворюється сорбіт відпуску. Крім цих перетворень в інтервалі температур $200-300^{\circ}\text{C}$ відбувається розпад залишкового аустеніту з утворенням відпущеного мартенситу.

Існують три види відпуску залежно від температури нагріву.

Низький відпуск при температурі $120-150^{\circ}\text{C}$ (відпуск на відпущений мартенсит). Застосовують після гартування інструменту, цементованих виробів, а також після поверхневого гартування. При цій Т.О. зменшується залишкове гартування напруження, твердість практично не знижується.

Середній відпуск (відпуск на троостит) при температурі $350-450^{\circ}\text{C}$ твердість знижується. Рекомендують для пружин і ресор.

Високий відпуск (відпуск на сорбіт) при температурі $500-650^{\circ}\text{C}$. Застосовують для виробів з конструкційних сталей з метою забезпечення достатньої міцності, в'язкості й пластичності. Поєднання гартування з високим відпуском на сорбіт називається «поліпшенням». Застосовують для середньовуглецевих сталей ($0,35-0,6\%\text{C}$).

Для підвищення твердості, межі витривалості й зносостійкості деталі машин піддають поверхневому зміцненню - поверхневий гартування, для якого використовують газоплазмовий гартування, гартування струмом високої частоти (СВЧ), лазерну обробку і т.п.

Гартованість - здатність сталі піддаватися гартуванню.

Прокалюваність - здатність сталі гартуватися на певну глибину. Прокалюваність залежить від хімічного складу, розмірів деталі й умов охолодження. Чим більше стійкість переохолоджуваного аустеніту, тим більше прокалюваність. Характеристикою прокалюваності є критичний діаметр, тобто максимальний діаметр циліндрового прутка, який повністю гартується в охолодженному середовищі.

Приклад: для вуглецевих сталей критичний діаметр складає $10-20\text{мм}$. Леговані сталі можуть прокалюватися в перерізі до $250-300\text{мм}$.

Термомеханічна обробка (ТМО) - це сукупність операцій пластичної деформації і термічної обробки - нагрів, пластична деформація і охолодження. Підвищуються механічні властивості за рахунок збільшення густини матеріалу і правильного розташування недосконалості кристалічної решітки металів.

Розрізняють високотемпературну термомеханічну обробку (ВТМО) і низькотемпературну (НТМО): ВТМО при температурі вище за температуру рекристалізації, деформація $20-30\%$, гартування і низький відпуск. НТМО при t^0 нижче за температуру рекристалізації $400-600^{\circ}\text{C}$, деформація $75-95\%$, гартування, низький відпуск.

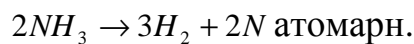
7.4 Хіміко-термічна обробка

Хіміко-термічна обробка (ХТО) - процес поверхневого насичення сталі різними елементами з метою додання їй відповідних властивостей. Окрім структурних змін відбувається зміни складу і будови поверхні за рахунок дифузії в неї елементів в атомарному стані із зовнішнього середовища при високих температурах. *Мета* - зміцнення поверхні, підвищення твердості, зносостійкості, втомленої міцності і т.д.

До ХТО відносяться: цементація, азотування, нітроцементація, ціанування, алітування, хромування, силіціювання, борування.

Існують три одночасних процеси:

1 - дисоціації молекул $2CO \rightarrow CO_2 + C$ атомарн.



2 - абсорбції;

3 - дифузії.

Цементація - процес насичення поверхні сталі вуглецем. Тверда поверхня, м'яка серцевина. Піддають низьковуглецеві сталі - не більше 0,25%С. Товщина шару 0,1-3-4мм, t^0 - 900-970 °С. Проводять у твердих, рідких і газоподібних середовищах - карбюризаторах. У шарі - 0,8-1%С.

Азотування - процес насичення сталі азотом. *Мета* - підвищення твердості, зносостійкості, втомленої міцності, t^0 процесу 500-600 °С. Азатований шар за рахунок нітридів володіє твердістю до HRC70 і зберігає її до 400-600 °С. Товщина шару 0,25-0,75мм. Азотуванню підлягають леговані сталі. Перед азотуванням – «поліпшення». Час процесу - до 60год.

8 МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

8.1 Класифікація сталей (загальна)

I Класифікація за хімічним складом, поділяється на дві групи:

- 1) прості вуглецеві сталі, в яких окрім Fe і C, $Mn < 1\%$ і $Si < 0,5\%$;
- 2) леговані сталі, в яких спеціально вводять різні елементи для додання певних властивостей: $Mn > 1\%$; $Si \geq 0,5\%$, Ni, Cr, W, V, Mo, Cn, Al, Ti, Co, B .

II За способом виробництва, на три групи:

1) Сталі звичайної якості, які виплавляють в конвертерах, або в кислих крупних мартенівських печах. У них допускається підвищений вміст S і P . S до 0,065% ; P до 0,085% .

2) Якісні сталі - виплавляють в малих і середніх основних мартенівських печах, вони чистіші по S і P - до 0,05% .

3) Високоякісні сталі - виплавляють в електропечах, в них обмежують вміст шкідливих домішок S і P до 0,03% .

III За застосуванням на дві групи :

- 1) конструкційні сталі - С до 0,7%,
- 2) інструментальні сталі - С 0,7-2,0%

Вуглецеві конструкційні сталі: мартенівські (М), конверторні (К), бесімерівські (Б).

Конструкційні сталі звичайної якості діляться на три групи:

- 1) групу А приймають від заводів за механічними властивостями;
- 2) групу Б приймають від заводів за хімічними складом.
- 3) групу В приймають і за хімічним складом, і за механічними властивостями.

Сталі групи А: від Ст0 до Ст7.

Ст0 - різні конструкції без напруження;

Ст1 - покрівельне залізо;

Ст2 - котельна сталь (товстий лист);

Ст3 - швелери, балки, крани;

Ст4 - кріплення, шпонки;

Ст5 - осьова;

Ст6 - рейкова сталь;

Ст7 - ресори, пружини.

Сталі групи Б - на машинобудівних заводах проходять теплову обробку. Сталі мартенівські й конверторні (М і К). Мсм1-Мсм7 Р > 0,045% S > 0,055% . Бесімерівські: Бсм0 – Бсм6 .

У сталях групи В лімітується ударна в'язкість α_n . Бесімерівські сталі цієї групи не випускають в Україні ВМсм1, ВКсм1.

Вуглецеві сталі якісні. Всі якісні сталі звичайно маркують за вмістом вуглецю. Вони можуть бути або мартенівської плавки, або електроплавлення. *За хімічним складом якісні вуглецеві сталі ділять на дві групи:*

- 1) з нормальним вмістом $Mn < 1\%$;
- 2) з підвищеним вмістом $Mn 1,4 - 1,8\%$.

Сталь 0,8; 10; 15; 20 і т.д. - вміст С в сотих %.

Інтервал 5 сотих до марки сталь 70 - ці сталі із звичайним вмістом Mn . З підвищеним вмістом Mn : Сталь 10Г, Сталь 15Г.

За вмістом С якісні вуглецеві сталі умовно ділять на чотири групи:

1 - низьковуглецеві конструкційні сталі з великою пластичністю і малою міцністю - сталі 0,8 і 10. З них роблять листи, стрічки, дріт, тобто невідповідальні деталі, які виготовляють шляхом холодного штампування;

2 - низьковуглецеві конструкційні сталі невисокої міцності, але достатньої в'язкості: сталі 15, 20, 25, 15Г, 20Г, 25Г. З них виготовляють деталі, які потім піддаються цементації;

3 - від марки 30 до 55, як з магнієм, так і без нього. Це покращені сталі, тобто вони піддаються гартуванню і високому відпуску. Можуть гартуватися СВЧ;

4 - високої міцності, зносостійкості, з високими пружними властивостями від 60 до 85, як з магнієм, так і без нього.

Після поліпшення, нормалізації і відпуску піддаються гартуванню СВЧ. Деталі працюють в умовах тертя за наявності вібрацій.

Листова сталь для холодного штампування. Для холодного штампування і витяжки застосовують киплячі сталі, вони володіють високою пластичністю через знижений вміст C і Si . Здатність сталі до витяжки визначається:

$$\frac{\sigma_T}{\sigma_B} = 0,65 \div 0,70.$$

Витяжка буває: глибока (ВГ), глибока (Г), нормальна (Н). Маркування сталі 0,5КП; 0,8КП.

Автоматні сталі. З них виготовляють вироби на автоматичних верстатах. Дають довгу стружку. Потрібно, щоб вони володіли оброблювальною крихкістю, тобто давали дрібну стружку, яка ламається. Підвищують вміст сірки S до 0,2%. Отримують включення MnS - крихкі, які забезпечують ломку стружки, або додають свинець Pb - за рахунок його включень стружка ламається. Маркірування за вмістом C в сотих %: А12, А15 до А35 0,12%С; 0,15%С.

Сталі для фасонного литва. Маркують за вмістом C в сотих %, додають літеру Л: 15Л до 55Л.

Маркірування легованих конструкційних сталей. Буквено-цифрове. Буквами позначається - легуючий елемент, цифрами - вміст елемента.

Кожен легуючий елемент має своє буквене позначення, як правило, це початкова буква російської назви елемента:

$Cr - X$; $W - B$; $Mo - M$; $Cu - D$; $Ni - H$; $V - \Phi$; $Mn - Г$; $Co - K$; $Al - Ю$; $B - P$; $Si - C$; $Ti - T$.

Приклад: 20Х2Н4А.

Вміст C 0,2; Cr -2%; Ni 4% - високоякісна - понижений вміст S і P . Коли після букви немає цифри, це означає що елемента менше 1%.

Шарикопідшипникові сталі. ШХ6, ШХ9, ШХ15. Всі мають 1%С, а Cr відповідно 0,6; 0,9; 1,5%.

Вуглецеві інструментальні сталі. У7А - 0,7%С високої якості;

У - вуглецева інструментальна сталь;

У7А - ударний інструмент (молотки, зубила, штампи гарячого штампування);

У8А - для ударних виробів (букви - клейма, для холодного штампування - пуансони, матриці);

У9А - твердіша, для інструменту з обробки дерева (пили, долота, стамески);

У10А ; У11А - напилки, різці, свердла, плашки;

У12А - крихка сталь для виготовлення фрез і хірургічного інструменту, 1,2%С;

У13А - волочильні інструменти, 1,3%С.

8.2 Чавуни

Сплав з вмістом вуглецю від 2,14 до 6,67% називається чавунами. Залежно від стану вуглецю діляться на три групи:

1 - білі чавуни, в яких весь вуглець знаходиться у зв'язаному стані у вигляді Fe_3C - цементиту,

2 - сірі чавуни - основна маса вуглецю знаходиться у вільному стані у вигляді графіту,

3 - половинчасті чавуни - проміжні, в них є і цементит і графіт.

Білі чавуни. Повне уявлення про структуру білого чавуну дає діаграма $Fe - Fe_3C$. Підрозділяють:

1. *доевтектичні чавуни* - $C=2-4,3\%$. Їх структура - ледебурит $(\Pi + Fe_3C) + Fe_3C_{II} + \Pi$;

2. *евтектичні чавуни* - $C=4,3\%$. Структура ледебурит $(\Pi + Fe_3C)$;

3. *заевтектичні чавуни* - $C=4,3-6,67\%C$. Їх структура - ледебурит $(\Pi + Fe_3C) + Fe_3C_I$.

Білі чавуни - твердий і крихкий матеріал, в машинобудуванні має обмежене застосування. Використовують там, де деталям потрібна висока твердість, а інші механічні властивості не важливі. Механічній обробці майже не піддається (колеса вагонів, лемехи плугів). Ці чавуни є граничними - переробляють у сталь або в *ковкі чавуни* (КЧ).

Сірі чавуни. Основна маса вуглецю знаходиться у вигляді графіту. Всі сірі чавуни - сталева основа + графіт.

Половинчасті чавуни. У них мережа структури характерна як для білого чавуну, так і для сірого. *Ледебурит + Гр + Π* .

Структура і властивості сірих чавунів. Твердість чавуну залежить від структури металевої основи, тобто від кількості зв'язаного вуглецю. На механічні властивості цих чавунів впливає розмір графіту, тому механічні властивості залежать як від будови металевої основи, так і від кількості й розмірів графітних включень. Необхідно підрозділяти сірі чавуни у зв'язку з впливом обох складових чавуну на механічні властивості по металевій основі і графіту.

Класифікація структури:

1. За площею зайнятий перлітом Π	$\Pi 95$	$\Pi 85$	$\Pi 1$
>98%	98-90%	90-80%		<2%

2. За дисперсністю перліту або його будовою

$\Pi_d 0,2$; $\Pi_d 0,5$; $\Pi_d 1,0$; $\Pi_d 1,4$; $\Pi_d 1,6$

a *б* *в* *г* *д*

a - тонкопластинчастий, сорбітоподібний, міжпластинчасті відстані <0,3мкм;

б - тонкопластинчастий, міжпластинчасті відстані 0,3-0,8мкм;

в - дрібнопластинчасті 0,8-1,3мкм;

г - середньопластинчасті 1,3-1,6мкм;

δ - великопластинчасті $>1,6\text{мм}$.

За графітом сірі чавуни підрозділяють:

1. За довжиною графітних включень : Гд 1, Гд 2 Гд 10
 $< 5\text{мм}$ $< 10\text{мм}$ $> 1000\text{мм}$
2. За кількістю графіту, за площею шліфа, зайнятого графітом в % :
Г02 ; Г04 ; Г06 ; Г10 ; Г12
 <3 3-5 5-8 8-12 >12
3. За формою графітних включень - 10 класів: Гф 1, Гф 2 Гф10.
4. За характером розподілу графіту. Гр1, Гр2....Гр10 (ізолювані включення, колонки, сітчастий, точковий, розетковий і т.п.).

Є класифікації сірих чавунів за кількістю і площею, зайнятою цементитом. У сірих чавунах спостерігається фосфідна евтектика. Всі фактори, що впливають на графітоутворення чавуну, діляться на дві групи:

1. Умови відливання: температура нагріву рідкого чавуну, час витримки, швидкість охолодження відливання.
2. Внутрішні фактори: хімічний склад чавуну - C, Si, Mn, S, P . C і Si - сприяють графітизації.

Механічні властивості сірого чавуну. Найлегше визначається твердість. Від твердості можна припускати решту властивостей. Для звичайних сталей: $\sigma_B = 0,36HB$. Такі ж залежності для чавунів: $\sigma_{B\text{чавуну}} = 0,11 \div 0,17HB$; $\sigma_{изг} = 1,75\sigma_{B\text{чавуну}}$; $\sigma_{сж} = 3,5\sigma_B$ чавуну - для оцінки міцності чавунів у першому наближенні.

Маркірування сірих чавунів. Проводять за механічними властивостями СЧ 12-28 - цифри механічних властивостей. Перша пара σ_B , друга пара $\sigma_{изг}$. Є марки СЧ: СЧ-00; СЧ 12-28; СЧ 15-32; СЧ 18-36 до СЧ 38-60.

Високоміцний чавун (ВЧ) одержують присадкою в рідкий сірий чавун добавок магнію, церію та деяких інших елементів. Під впливом цих добавок (модифікаторів) у чавуні утворюється графіт кулястої форми. Процес модифікації супроводжується піроефектом, тому для введення модифікаторів у рідкий чавун використовують спеціальні пристрої або обладнання (автоклави). ВЧ мають вищі механічні властивості, вони можуть бути використані замість поковок і відливок з вуглецевої сталі для деталей машин, які працюють у важких умовах.

Позначення: ВЧ, потім йдуть цифри, перші вказують межу міцності при розтягуванні, а другі - відносне подовження при розтягуванні. ВЧ 45-5 - $\sigma_B = 450\text{МПа}$, $\pi = 5\%$.

З ВЧ виготовляють колінчасті вали й поршні автомобільних, тракторних і двигунів тепловозів, шестерні, гальмівні диски, деталі прокатних верстатів, корпуси насосів, вентилі і т.д. ВЧ використовують у вузлах тертя з високими коловими швидкостями.

Ковкий чавун отримують з білого шляхом тривалого нагріву при високих температурах (відпал, томління). У результаті виходить графіт пластівчастої форми. Маркують буквами КЧ і цифрами. Перші дві цифри вказують межу

міцності чавуну при розтягуванні, а другі - відносно подовження. КЧ застосовують в автомобільній, сільськогосподарській, текстильній та ін. галузях машинобудування. З нього виготовляють деталі, які працюють при середніх і високих статичних і динамічних навантаженнях (підшипники, кронштейни, картери редукторів, поршні, маточини).

Його широке застосування пов'язане з тим, що він дешевше сталі і володіє високою стійкістю проти корозії.

8.3 Пластична деформація і рекристалізація металів

Пластична деформація. Якщо до тіла прикласти силу не перпендикулярну до перетину, то загальне виникаюче напруження теж буде не перпендикулярне до перетину.

Існують три типи напруження:

- 1) загальне,
- 2) нормальне,
- 3) дотичне.

Під дією напруження тіла деформуються. Деформацією називається зміна форми і розмірів тіла під впливом зовні прикладених сил або внутрішніх сил або напруження, що виникають у матеріалах з тих чи інших причин.

Існують три типи деформації:

- 1) пружна,
- 2) пластична,
- 3) руйнуюча.

Пружна деформація - це деформація, що усувається після зняття навантаження, виникає під впливом нормального напруження. При пружній деформації металів відбувається зміна відстані між атомами, спотворення просторових решіток, але мікроструктура при цьому не змінюється. Для металів в області пружної деформації між напруженням і деформацією існує лінійна залежність згідно із законом Гука: $G = E \cdot \sigma$. Пружні властивості є структурно нечутливими, вони закладені в природі самого металу.

Межу пружності не можна відносити до пружних властивостей, оскільки вона характеризує перехід від пружної деформації до пластичної, тобто опір малим пластичним деформаціям, а ця величина є структурно чутливою.

Пластична деформація - це залишкова деформація або та, що зберігається в металах після зняття навантаження. Відбувається під впливом дотичного напруження.

Руйнування металів - це залишкова деформація, що приводить до порушення суцільності металу і до розриву зв'язків між атомами. Руйнування настає тоді, коли зовнішні сили перевищують сили міжатомного тяжіння.

Розрізняють два види руйнувань: *крихке і в'язке*.

Крихке руйнування не супроводжується помітною пластичною деформацією, отже такий вид руйнування настає раніше, ніж буде досягнута

межа текучості матеріалу. Крихке руйнування - це розрив зв'язків між атомами під впливом нормального напруження якоїсь площини.

В'язке руйнування супроводжується певною пластичною деформацією. Отже в'язке руйнування настає після того, коли буде перевищена межа текучості, відбудеться якоюсь мірою пластична деформація, а після цього настає розрив зв'язків між атомами. У зв'язку з тим, що пластична деформація відбувається під впливом дотичного напруження, то спочатку останнє перевищує межу текучості, відбувається певна пластична деформація і після цього здійснюється розрив зв'язків між атомами.

Навантаження металу вище за межу текучості приводить до його пластичної деформації під впливом дотичного напруження. При кімнатній температурі характерними особливостями поведінки металів при пластичній деформації є наступні :

1 - у міру збільшення ступеня пластичної деформації опір металу пластичній деформації збільшується;

2 - у міру збільшення ступеня пластичної деформації здатність металів пластично деформуватися зменшується. Ці два явища називаються **наклепом** або **зміцненням**;

3 - під впливом пластичної деформації відбувається суттєва зміна мікро- і субструктури металу.

Пластична деформація монокристалів у переважній більшості випадків відбувається шляхом ковзання. Ковзання полягає в тому, що монокристал розбивається на шари або пластини, або пачки ковзання, які зміщуються або ковзають один відносно до одного.

1. Ковзання відбувається по певних кристалографічних площинах - площинах найменшого опору.

2. Площинами ковзання є площини найгустіше усяні атомами.

3. Ковзання зовні виявляється в тому, що на поверхні кристала виникає ступінчаста неоднорідність, так звані смуги ковзання.

4. Смуги ковзання співпадають з дефектами у кристалічній решітці, тобто в місцях скупчення точкових дефектів, дислокацій і т.д.

5. Одночасно з ковзанням одних об'ємів по відношенню до інших відбувається поворот площин ковзання навколо осі, перпендикулярній до напряму діючого зусилля.

Двійникування. Пластична деформація не завжди відбувається шляхом ковзання. У деяких випадках воно здійснюється шляхом *двійникування*, яке полягає в тому, що частина кристалу зміщується щодо якоїсь площини в нове положення, симетричне залишеній частині кристалу. Ці дві частини кристалу є віддзеркаленням один одного. Пластична деформація шляхом двійникування відбувається в тих випадках, коли шляхом ковзання вона не може реалізуватися. Це такі випадки :

1 - при дуже швидкому додаванні навантаження (удари);

2- при багатовісному напруженому стані,

3 - при низьких температурах (нижче 0°C),

4 - коли прикладене навантаження не може викликати критичного напруження, необхідного для ковзання.

При двійникуванні має місце зсув цілої групи атомних шарів. Це відбувається при відносно малій пластичній деформації. Звичайно це залишкова деформація порядку першої між атомної відстані.

У процесі пластичної деформації реальних металів можна розрізнити такі зміни структури і властивостей:

1. при відносно малих ступенях пластичної деформації відбувається загустіння металу, йде запресування порожнеч і пар, порушуються межі зерен, але зерно ще не міняє свою форму;

2. при вищому напруженні відбувається витягування зерен, при цьому існують два типи ліній:

а) лінії Розенгайна - це смуги ковзання, розташовані в межах окремих зерен,

б) лінії Чернова-Людерса, що характеризують процеси ковзання в мікрооб'ємах, які найчіткіше виявляються при напрузі відповідних σ_T ;

3. відбувається при вищому напруженні дроблення зерна на дрібні осколки;

4. при ще більшому напруженні відбувається поворот кристалів щодо діючого зусилля і створюється «текстура» - переважна орієнтація кристалів по відношенню до сил, що діють. При цьому починає виявлятися анізотропія властивостей;

5. під впливом пластичної (холодної) деформації відбуваються суттєві зміни субмікроструктури, що полягають в подрібненні фрагментів та блоків і збільшенні кутів їх роз орієнтації;

6. виникає суттєве внутрішнє напруження під впливом нерівномірності пластичної деформації в окремих зернах.

Таким чином під впливом холодної пластичної деформації відбувається «наклеп» - підвищення міцності й зниження пластичності.

Рекристалізація. Рекристалізацією називається процес зняття в холодно-деформованому металі спотворень і недосконалості його кристалічної будови, що супроводжується зняттям внутрішнього напруження, зародженням нових зерен і повним оновленням зерна і його подальшим зростанням. При цьому властивості повертаються до результатних, тобто знімається наклеп. Наклепаний метал знаходиться в метастабільному - нестійкому стані. Для переведення його в стабільний стан необхідно збільшити рухливість атомів, що досягається підвищенням температури, зміною структури і властивостей холодно-деформованому металу в процесі його нагріву.

І повернення 1-го роду (відпочинок). Для Fe цей період 100-200 °C. Зміна властивостей не відбувається, не змінюються також мікро- і субструктури металу. Відбувається зменшення кількості точкових дефектів. Змінюється тільки одна властивість - електропровідність різко збільшується.

II повернення 2-го роду (полігонизація) 200-300 °С. Властивості не змінюються. Відбувається планомірне переміщення дислокацій і групування їх в ряди, ці ряди утворюють межі блоків.

III - первинна рекристалізація (обробка рекристалізації). В інтервалі 300-500 °С. Повністю оновлюється зерно. Механічні властивості повертаються до результатних. Встановлено, що температура рекристалізації металів залежить від температури їх плавлення. Формула А.А. Бочвара є такою:

$$T_p = K \cdot T_s,$$

де T_p - абсолютна температура рекристалізації, в градусах Кельвіна;

T_s - абсолютна температура плавлення, в градусах Кельвіна;

$K = 0,2$ - для хімічно чистих металів ($K \approx 0,4$ - для технічно чистих металів
 $K = 0,5 \div 0,6$ - для сплавів заліза).

Приклад: $Pb: T_s = 327^\circ C = 600 K$; $T_p = 0,4 \cdot 600 = 240 K \cdot t_p^0 = -33^\circ C$.

IV. Вторинна або збірна рекристалізація. Для $Fe > 500^\circ C$. Властивості не міняються, але укрупнюються зерна, відбувається інтенсивне зростання зерен.

Гаряча пластична деформація. Це пластична деформація, що відбувається при температурі вище за температуру рекристалізації. Поняття холодної і гарячої пластичної деформації є відносним. Одна і та ж температура може для одних металів бути температурою холодної пластичної деформації, а для інших температурою гарячої пластичної деформації.

Приклад:

	$\frac{20^\circ C}{}$		$\frac{20^\circ C}{}$
Fe	$t_p^0 \sim 450^\circ C$ холодна пластична	Pb	$t_p^0 = -33^\circ C$ гаряча пластична
Sn	$t_p^0 = 270^\circ C$ деформація		деформація

Механічні властивості. До них відносяться: твердість; властивості визначувані при статичному розтягуванні; ударна в'язкість, межа витривалості.

Твердість - це здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього стороннього тіла.

Метод Брінеля - під дією сили F у випробуване тіло впроваджується кулька діаметром D . Число твердості HB є відношенням сили F до площі відбитку діаметром d .

Метод Роквелла - у випробувану поверхню вдавлюється індентор - діамантовий конус з кутом при вершині 120° або сталева кулька малого діаметра. Число твердості HR зворотно пропорційне до глибини впровадження індентора. Шкали приладу HRA ; HRB ; HRC . Шкала C і A - для твердих тіл, шкала B - для м'яких.

Метод Віккерса - вимірює як м'які, так і дуже тверді матеріали. Твердість HV визначається за діагоналлю відбитку d від вдавлюваної діамантової піраміди.

Зміцнені характеристики. Напруження $\sigma_T (F_T / S_o)$ відповідає виникненню площадки текучості на записаній у процесі випробувань діаграмі в координатах $\sigma - \delta$ і E , називається фізичною межею текучості.

За відсутності площадки визначають умовну межу текучості $\sigma_{0,2}$, якою є напруження, що приводить до залишкової деформації 0,2% від довжини зразка.

Напруження, попереднє руйнуванню зразка, називається тимчасовим опором або межею міцності σ_B .

Пластичні характеристики. Їх знаходять, вимірюючи зразки до і після випробувань. Визначають попередню руйнуванню пластичну деформацію, що виражається відносним подовженням чи відносним звуженням $\delta = \frac{l_k - l_o}{l_o} \cdot 100\%$.

Крім статистичних проводять динамічні випробування на ударний вигин. Спеціальні зразки руйнують на маятниковому копії за один удар.

Ударна в'язкість a_n являє собою роботу (необхідну для руйнування), віднесену до робочої площі поперечного перерізу зразка. Випробування ударним вигином при негативних температурах визначають температури порогу холодноламкості.

Властивості металів протистояти втомі називають витривалістю. Межа витривалості σ_{-1} відповідає максимальному напруженню, що не викликає руйнування зразка при нескінченно великому числі циклів навантаження N . Введені бази випробувань: для сталі $N \geq 10 \cdot 10^6$ для кольорових сплавів $N \geq 100 > 10^6$ циклів.

9 ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

9.1 Фізична суттєвість процесів, що протікають при зварюванні

Зварюванням називають технологічний процес отримання нероз'ємних з'єднань з металів, їх сплавів та ін. матеріалів. Це один з широко використовуваних процесів при будівництві й при експлуатації будівель (при ремонті).

За формою використовуваної енергії:

- *термічне зварювання* (дугове, плазмове, газове, електрошлакове та ін.);
- *термомеханічне зварювання* (контактне, дифузійне та ін.) – використовуються теплова енергія і тиск;
- *механічне зварювання* (холодне, ультразвукове, тертям та ін.) – додання механічної енергії і тиску. За рівнем механізації: ручне, напівавтоматичне й автоматичне.

Головне завдання зварювання - отримання міцного зварювального з'єднання. Міцність забезпечується атомно-молекулярними зв'язками між

елементарними частками з'єднаних елементів. Взаємодія настає при зближенні їх на відстані, що приблизно дорівнює атомному радіусу.

Для того, щоб забезпечити процес зварювання, необхідно активувати поверхневі атоми металу, вирівняти поверхню чи здійснити щільний контакт і видалити із зони зварювання окиси й органічні плівки. Тому виникнення міжатомної чи міжмолекулярної взаємодії здійснюється при витратах механічної чи теплової енергії.

Процес зварювання складається з трьох умовних етапів: формування фізичного контакту; утворення хімічних чи металічних зв'язків; створення міцного зварного з'єднання.

Етапи при термічному зварюванні:

1. Джерела тепла забезпечують температуру не нижче 3000 °С і локальне розплавлення ділянок металу, з якими знаходяться поруч великі об'єми холодного металу. Видаляються нерівності й забруднення з'єднаних поверхонь. Цей етап закінчується формуванням фізичного контакту – атоми на відстанях, необхідних для початку міжатомних взаємодій.
2. Утворення зварювальної ванни, в яку зливається розплавлений метал. Здійснюється зчеплення атомів металу зварювальної ванни і основного металу, утворюються міцні хімічні зв'язки – здійснюється процес дифузії.
3. Цей етап настає після видалення джерела нагріву – здійснюється охолодження рідкого металу і його кристалізація.

При механічному зварюванні:

1. Під вантажем деформовані нерівності поверхонь, руйнуються, видаляються оксидні й органічні плівки, досягається фізичний контакт.
2. Міжатомна взаємодія – утворюються металеві зв'язки – іони і узагальнені валентні електрони.
3. Етап – *дифузійні процеси* – переміщення часток металу з місця контакту на деякі відстані.

Зварюваність – властивість різних матеріалів утворювати надійні й економічні зварні з'єднання. За можливістю зварювання матеріали поділяються на добре, задовільно і погано зварювані.

Сталі за відношенням до зварювання поділяються на чотири групи:

1-а група – добра зварюваність: Ст 1...Ст 6, сталі 0,8, 10, 15, 20, 25 і низьколеговані – 15Х, 15ХГ, 15ХНГ і т.д. Вони зварюються за звичайною технологією – без попереднього підігріву і наступної термічної обробки. Але для зняття внутрішніх напружень термообробки не виключають, при цьому використовують електроди Э-34, Э-42, Э-46;

2 група – задовільна зварюваність: сталі 30 і 35, 20ХН3А, 20ХГСА, 30Х, високолеговані – 12Х14А, 2Х14А, 30Х13. Для них необхідна термообробка. Використовують електроди Э-45, Э-50, ЭН-250, ЭН-300;

3 група – обмежена зварюваність: СТАЛІ 40, 45, 50 до 0,45%С, 30ХГС, 40ХНЮ, 45Л, 20Х18Н9, 36Х18Н25С2, 20Х23Н18. У цьому випадку виникають тріщини. Обов'язкова термообробка. Використовують електроди: Э-50, Э-55, ЭН-300, ЭН-350;

4 група – погана зварюваність: $C > 0,55\%$ сталі 60-85, 50Г, 50ХГСА, 45ХНЗМФА, 18ХНЗА ці сталі перед зварюванням необхідно підігрівати до 200-300 °С і проводять кінцеву термообробку. Використовують електроди: 12АН – ЛІИВТ, Т-590, Т-620 спеціальні.

9.2 Зона термічного впливу

У процесі зварювання метал в зоні зварюваного шва зазнає вплив температур в широкому діапазоні, в результаті чого змінюються його структура і механічні властивості. Ця зона називається ЗТВ.

У будівельних конструкціях основним металом, що підлягає зварюванню, є сталі. Структурні зміни здійснюються згідно з діаграмою «Fe-C» (рис.15).

Структурна неординарність призводить до появи напружень у зварному шві, тріщини і короблення. Неоднорідність структури видаляють спеціальною термообробкою.

При зварюванні конструкційних сталей метал ділянки 1 біляшовної зони (рис. 15) знаходиться у твердорідкому стані. На цій ділянці від частково оплавлених зерен основного металу утворюються кристаліти шва. Перша ділянка і прикордонний шар металу утворюють зону сплаву або перехідну зону. Ця зона є головною, в ній можуть виникнути атомні тріщини, крихкі руйнування та інші дефекти. На ділянці перегріву 2 або ділянці крупного зерна, де температура змінюється від 1200°C до температури плавлення, відбуваються алотропічні перетворення, виникає крупне зерно аустеніту. На ділянці 3 (від 800 до 1200°C) метал проходить перекристалізацію і набуває аустенітну структури. Температура металу ділянки 4 (від 720 до 880°C) забезпечує його неповну перекристалізацію. Ділянка старіння 6 при рекристалізації має перепад температур від 500 до 720°C. Процес старіння пояснюється гартуванням з температури 720°C до кімнатної температури на пересичений твердий розчин, що характеризується підвищенням змісту домішок (вуглецю і азоту). При розпаді пересиченого твердого розчину надмірна кількість вуглецю і азоту виділяється у вигляді тонкодисперсних карбідів і нітридів, що зміцнюють метал і роблять його крихким. Остання ділянка 7 (від 100 до 500°C) не має видимих структурних перетворень.

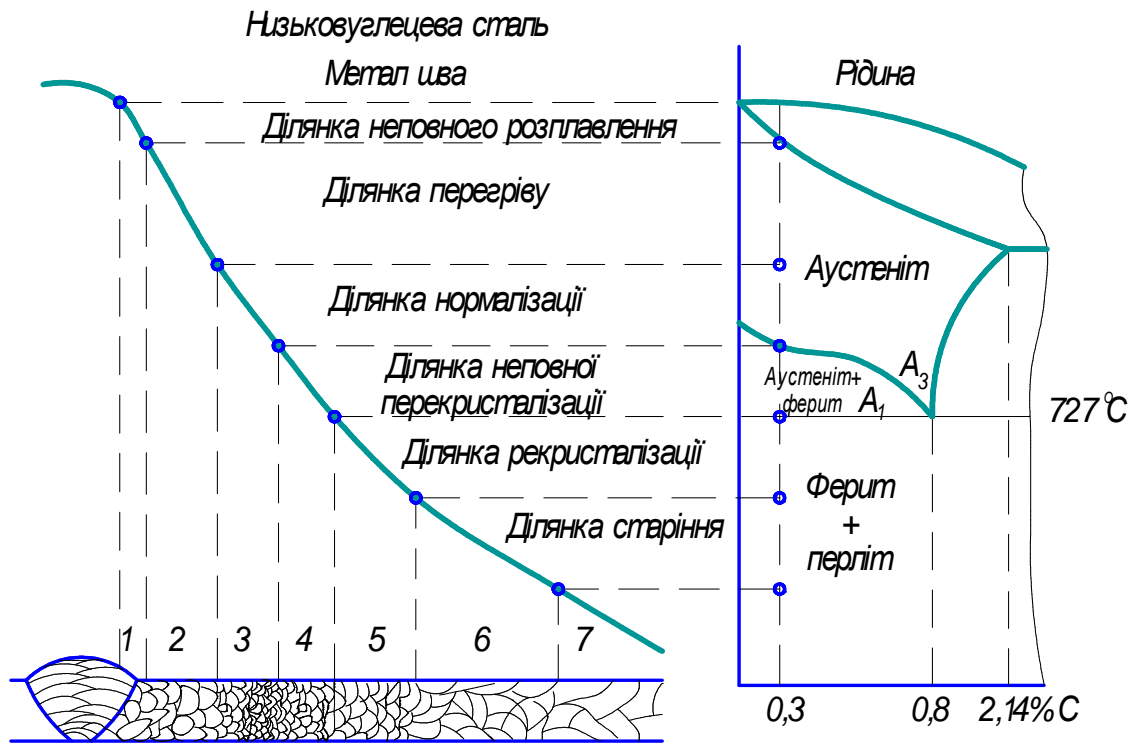


Рис.15 – Діаграма «Fe-C» зони термічного впливу:

1 – крупнозерниста структура; 2 – перехід від розплавленого металу до твердого має мікронеординарність; 3 – крупні аустенітні зерна – при охолодженні утворюється структура із зниженою ударною в'язкістю (структура аустеніту); 4 – ділянка нормалізації (відносно дрібнозерниста структура – аустеніт - ферит); 5 – ділянка неповної рекристалізації – менша міцність; 6 – ділянка відпуску $t \approx 600^\circ\text{C}$ (структура ферит – перліт); 7 – ділянка $300-400^\circ\text{C}$ - знижена пластичність.

Процес зварювання приводить до виникнення напруження в металі. Вони виникають як наслідок нерівномірного нагріву; утрудненого розширення і стиснення розігрітого металу, оточеного холодним металом, і структурних перетворень в металах. Встановлено, що зварювальне напруження не знижує несучу здатність конструкцій і мало впливає на їх довговічність.

Якщо зварювальне напруження буде рівне межі текучості, можуть виникнути залишкові деформації матеріалу. Величина і характер залишкових деформацій визначаються властивостями і товщиною зварюваних металів, режимом зварювання, послідовністю накладення швів, конструктивними формами зварюваних деталей і формою шва. Залишкові деформації знижують довговічність і псують зовнішній вигляд зварної конструкції.

Існують методи зняття зварювального напруження (термообробка, термопластичний метод, аргондугова обробка, проковування металу шва і околшовної зони, метод навантаження до межі текучості металу та ін.) і усунення залишкових деформацій (термічна правка, механічна правка та ін.).

9.2.1 Будова зварного шва і його механічні якості

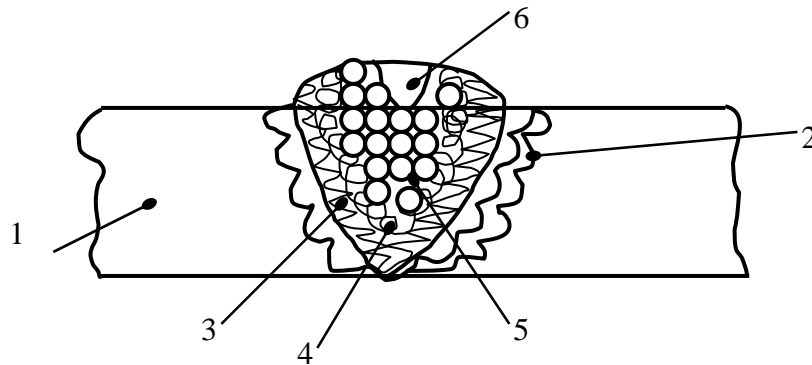


Рис.16 – Будова зварного шва:

1 - структура головного металу - сорбіт; 2 - відпал; 3 - структура має витягнуту форму зерен; 4 - зерна округлої форми; 5 - крупні зерна; 6 - усадкова раковина.

Різна структура в зварному шві приводить до того, що він не має однакової міцності за перерізом. У міру охолодження зварної ванни, коли відбувається усадка металу, виникає усадкове напруження. За ГОСТом геометричні розміри шва підрозділяються на :

- шви нормальні;
- шви ослаблені;
- шви посилені.

9.3 Види зварювальних з'єднань і швів

Види зварювальних з'єднань і швів поділяються на зварювання у стик, в напуск, в тавр, накладне зварювання.

Залежно від перерізу (розміру) шва при зварюванні в стик вони бувають однопрохідними, багатопрохідними, багатопшаровими. При зварюванні в стик металу завтовшки більш 25 мм використовують метод «гірки».

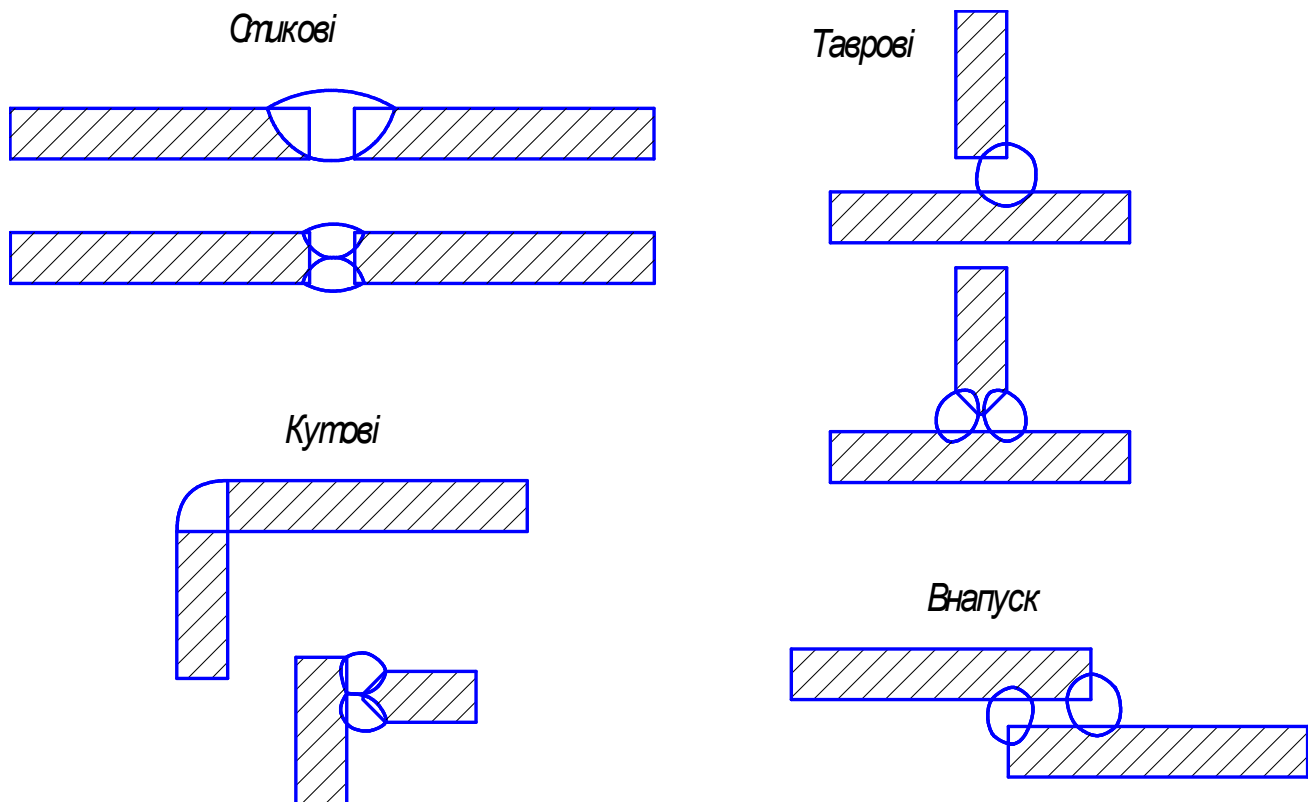


Рис.17 – Види зварних з'єднань

Види зварних з'єднань:

1. стикові,
2. напускні,
3. таврові і кутові,
4. хрестом

Види зварювальних швів:

- за просторовим положенням;
- за протягом;
- за кількістю проходів;
- за формою перерізу шва (ви pukлі, нормальні, вгнуті);
- за призначенням (герметичні, негерметичні, прихватні та ін.)

Стикові з'єднання - найтипівіші зварні з'єднання, в яких торці або кромки деталей, що сполучаються, розташовуються так, що поверхня однієї деталі є продовженням поверхні іншої деталі. Стикові з'єднання без скоу зварюваних кромок застосовують при з'єднанні листів товщиною до 8 мм. Кромки листів зрізають під прямим кутом до площини листа і при зварюванні розташовують із зазором 1...2 мм. Листи завтовшки до 6 мм зварюють одностороннім швом, а більше 6 мм - двостороннім швом. Стикові з'єднання з У-подібним обробленням кромок застосовують при зварюванні металу товщиною від 4 до 26 мм. При цьому оброблення кромок може бути одно- і двостороннім. Для товщини металу від 20 до 100 мм застосовують У-подібну обробку шва з криволінійним скоу однієї або обох кромок. Стикові з'єднання з Х- і К-подібним обробленням кромок застосовують при зварюванні металу товщиною

від 12 до 100 мм. При цьому витрата електродного металу, а звідси і електроенергії, майже удвічі менше, ніж у з'єднань з V-подібним обробленням кромки. Крім того, таке оброблення забезпечує меншу величину деформацій після зварювання. При V- і X-подібному обробленні кромки притупляють, щоб запобігти пропаленню металу при зварюванні.

Внапуск з'єднання широко застосовують при виготовленні різних будівельних конструкцій - колон, щогл, ферм та ін. Це здійснюється шляхом накладення одного елемента з'єднання на інший. Величина перекриття повинна бути не менше подвоєної суми товщини зварюваних кромки виробу. Зварювані поверхні не обробляють (не рахуючи зачистку кромки). Листи при зварюванні заварюють з обох боків, щоб не допустити проникнення вологи в зазор між зварюваними листами.

Таврові з'єднання - з'єднання, при яких торець одного елемента примикає до поверхні іншого елемента зварюваної конструкції під деяким кутом (найчастіше під прямим). Залежно від призначення з'єднання і товщини металу елементів конструкції зварювання може бути здійснена без скосу, з одностороннім скосом і двостороннім скосом кромки елементів з'єднання. Для отримання міцного шва зазор між зварюваними елементами складає 2...3 мм.

Кутові з'єднання здійснюють при розташуванні зварюваних елементів під прямим або довільним кутом, зварювання виконують по кромках цих елементів з одного або з обох боків. Кутові з'єднання застосовують при зварюванні різних коробчатих виробів, резервуарів і ємкостей.

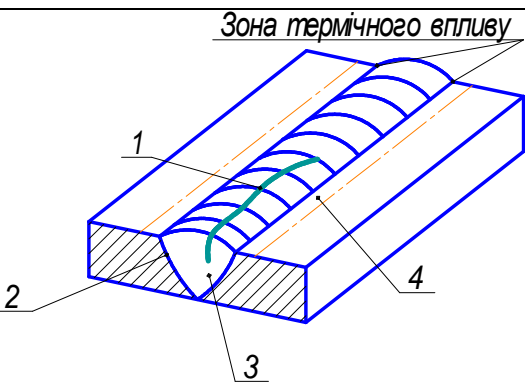
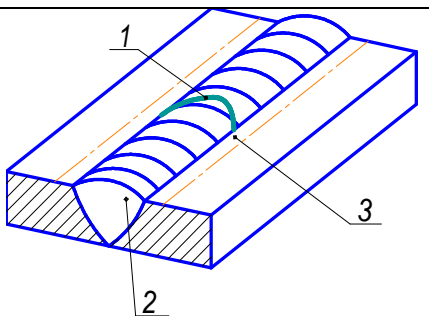
9.4 Контроль зварювальних з'єднань

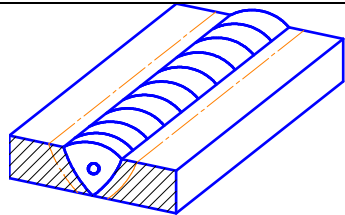
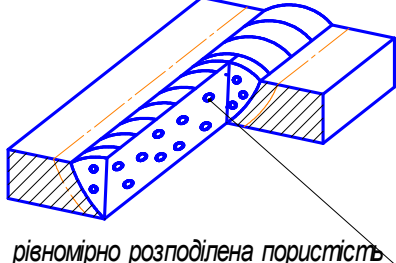
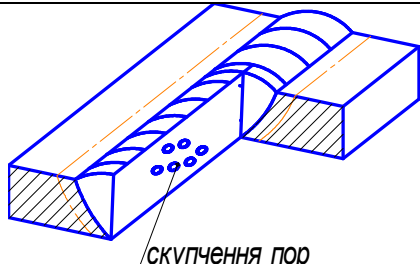
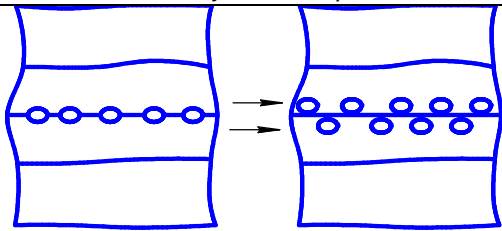
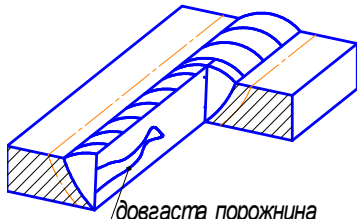
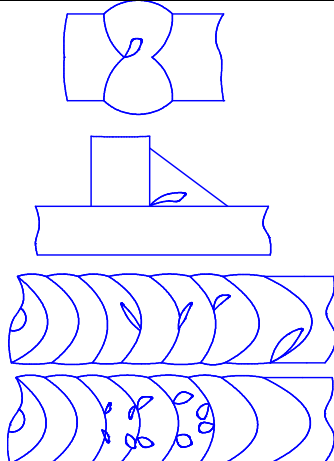
1. Призначення контролю (виконання технічних умов, робочих креслень);
2. Послідовність і об'єкт контролю (документація, матеріали, з'єднання, шви і т.д.);
3. Методи контролю:
 - мікроаналіз;
 - мікроаналіз;
 - руйнівні – загин, розрив, твердість, ударна в'язкість та ін.
 - неруйнівні: ультразвук, магнітний, рентгенівський, газова проба;
4. Види дефектів:
 - зовнішні;
 - внутрішні;
5. Причини дефектів:
 - неправильний вибір технологічного зварювання;
 - використання неякісних матеріалів;
 - неправильний технологічний процес;
 - низька кваліфікація.

Дефекти зварних швів є наслідком неправильного вибору або порушення технологічного процесу виготовлення зварної конструкції. Дефекти розділяються на зовнішні й внутрішні. До зовнішніх дефектів відносяться:

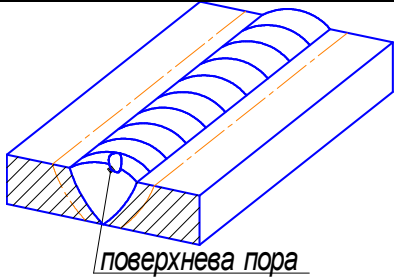
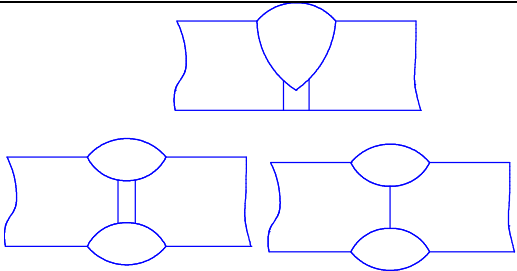
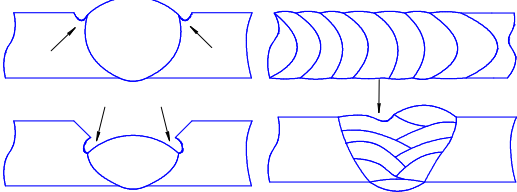
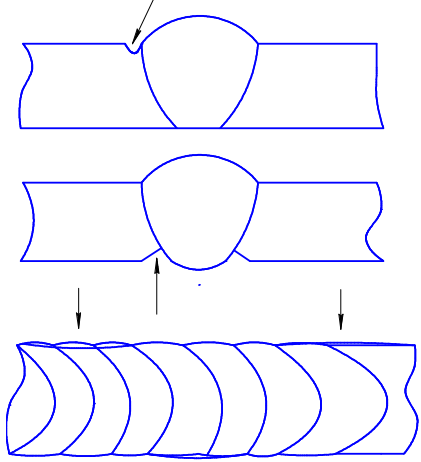
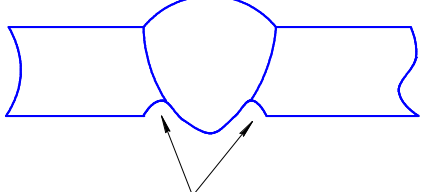
порушення встановлених розмірів і форми шва (ширина і висота шва), непровари, підрізи, перепали, пропали, напливи, натечі, груба лускова поверхня шва, зовнішня пористість, не заварені кратери, шлакові включення і тріщини на поверхні шва. До внутрішніх дефектів відносяться: пористість, неметалічні включення, непровари, перепал і перегрів металу шва, а також внутрішні тріщини. Класифікацію дефектів визначено за ДСТУ 3491-96 (ГОСТ 30242-97) [5]. За цим стандартом дефекти класифіковані на шість груп: тріщини; порожнини, пори; тверді включення; несплавлення і непровари; порушення форми шва; інші дефекти, не включені до вищевказаних груп. Деякі дефекти за стандартом наведені в табл. 9.1.

Таблиця 9.1 – Дефекти зварювальних з'єднань

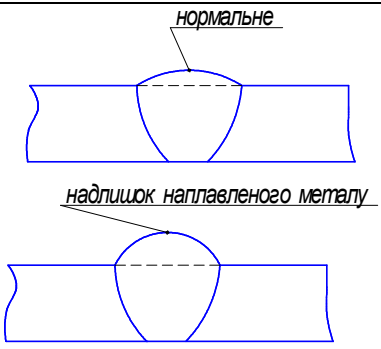
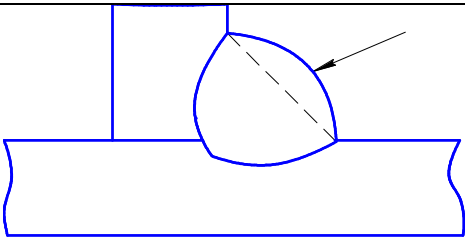
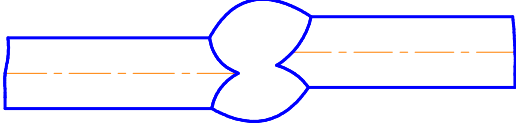
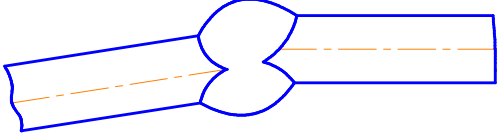
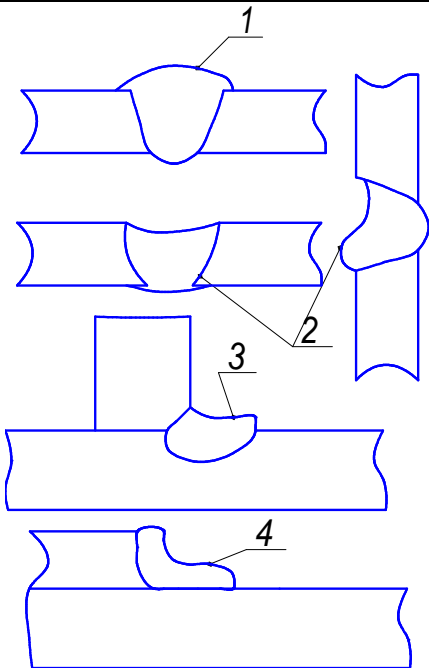
Назва дефекта	Визначення і/або пояснення дефекту	Рисунки зварних швів і з'єднань з дефектами
1	2	3
Тріщини	Несуцільність, викликана місцевим розривом шва, який може виникнути внаслідок охолодження або дії навантажень	
Мікротріщина	Тріщина, що має мікроскопічні розміри, яку виявляють фізичними методами не менш як при п'ятидесятикратному збільшенні	
Поздовжня тріщина	Тріщина, орієнтована паралельно до осі зварного шва. Вона може розміщуватись: 1 – у металі зварного шва; 2 – на межі сплавлення; 3 – у зоні термічного впливу; 4 – в основному металі	
Поперечна тріщина	Тріщина, орієнтована поперек осі зварного шва. Вона може розміщуватись: 1 – у металі зварного шва; 2 – у зоні термічного впливу; 3 – в основному металі	

1	2	3
Газова пора	Газова порожнина звичайно сферичної форми	
Рівномірно розподілена пористість	Група газових пор, розподілених рівномірно в металі зварного шва. Слід відрізняти від ланцюжка пор.	 <i>рівномірно розподілена пористість</i>
Скупчення пор	Група газових порожнин (три або більше), розміщених купчасто з відстанню між ними меншою за три максимальні розміри більшої з порожнин	 <i>скупчення пор</i>
Ланцюжок пор	Ряд газових пор, розміщених в лінію, звичайно паралельно до осі зварного шва, з відстанню між ними, меншою за три максимальні розміри більшої з пор	 <i>ряд газових пор розміщених в лінію</i>
Довгаста порожнина	Несуцільність, витягнута вздовж осі зварного шва. Довжина несучільності не менш як у два рази перевищує висоту	 <i>довгаста порожнина</i>
Свищ	Трубчаста порожнина в металі зварного шва, викликана виділенням газу. Форма та положення свища визначаються режимом твердіння та джерелом газу. Звичайно свищі групуються у скупчення і розподіляються ялинкою	

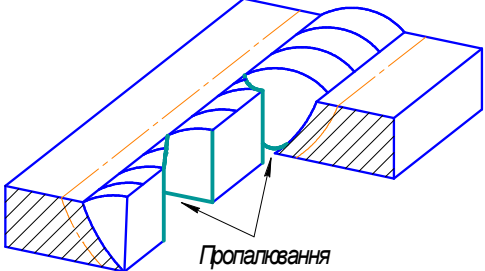
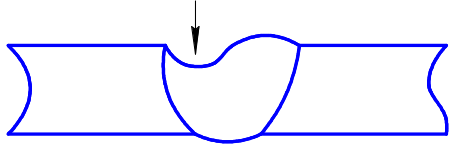
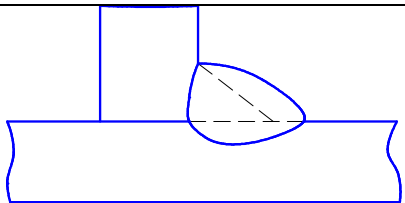
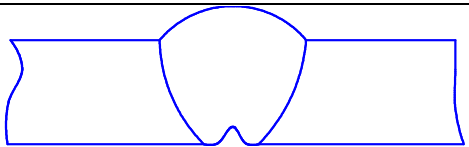
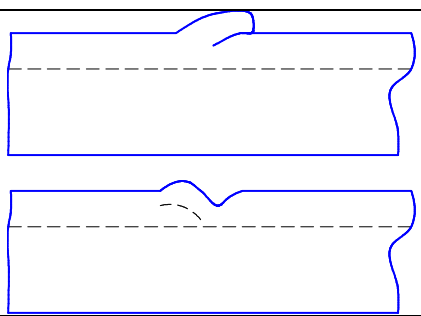
Продовження табл. 9.1

1	2	3
Поверхнева пора	Газова пора, що порушує суцільність поверхні зварного шва	
Усадкова раковина	Порожнина, що утворюється внаслідок зсідання під час твердіння	
Не провар (неповний провар)	Несплавлення основного металу по всій довжині шва чи на ділянці, яке виникає внаслідок неспроможності розплавленого металу проникнути в корінь з'єднання	
Порушення форми	Відхилення форми зовнішніх поверхонь зварного шва або геометрії з'єднання від установленого значення	
Підріз неперервний	Заглиблення поздовжнє на зовнішній поверхні валика зварного шва, що утворюється при зварюванні.	
Підріз переривчастий		
Усадкова канавка	Підріз з боку кореня одnobічного зварного шва, викликаний зсіданням по межі сплавлення	

Продовження табл. 9.1

1	2	3
Перевищення випуклості стикового шва	Надлишок наплавленого металу на лицьовій стороні стикового шва понад установлене значення	
Перевищення випуклості кутового шва	Надлишок наплавленого металу на лицьовій стороні кутового шва (на всій довжині чи на ділянці) понад установлене значення	
Лінійне зміщення	Зміщення між двома зварюваними елементами, при якому їх поверхні розташовані паралельно, але не на потрібному рівні	
Кутове зміщення	Зміщення між двома зварюваними елементами, при якому їх поверхні розташовані під кутом, що відрізняється від потрібного	
Натікання	<p>Метал зварного шва, який осів внаслідок дії сили тяжіння і не має сплавлення зі з'єднуваною поверхнею. Залежно від умов це може бути:</p> <p>1 – натікання при горизонтальному положенні зварювання;</p> <p>2 – натікання в нижньому або стельовому положенні зварювання;</p> <p>3 – натікання в кутовому зварному шві;</p> <p>4 – натікання в шві при з'єднанні внапуск</p>	

Продовження табл. 9.1

1	2	3
Пропалювання	Витікання металу зварювальної ванни, внаслідок якого утворюється наскрізний отвір у зварному шві	
Неповне заповнення розроблення крайок	Поздовжня неперервна або переривчаста канавка на поверхні зварного шва через недостатність прикладжуваного металу при зварюванні	
Надмірна асиметрія кутового шва	Надмірне перевищення розмірів одного катета над другим	
Нерівномірна ширина шва	Відхилення ширини від установленного значення уздовж зварного шва	
Нерівна поверхня	Груба нерівномірність форми поверхні підсилення шва по довжині	
Угнутість кореня шва	Неглибока канавка з боку кореня одностороннього зварного шва, яка утворилась внаслідок зсідання	
Пористість у корені зварного шва	Наявність пор у корені зварного шва внаслідок виникнення бульбашок під час затвердіння металу	
Відновлення	Місцева нерівність поверхні в місці відновлення зварювання	
Інші дефекти		
Випадкова дуга	Місцеве пошкодження поверхні основного металу, що прилягає до зварного шва, яке виникло в результаті випадкового горіння дуги	

1	2	3
Бризки металу	Краплі наплавленого або присаджувального металу, що утворились під час зварювання і прилипли до поверхні затверділого металу зварного шва або навколо шовної зони основного металу	
Вольфрамові бризки	Частинки вольфраму, викинуті з розплавленої зони електрода на поверхню основного металу або затверділого металу зварного шва	
Поверхневі задирки	Пошкодження поверхні, викликане видаленням тимчасово привареного пристрою	
Потоншення металу	Зменшення товщини металу до значення, меншого за допустиме, при механічному обробленні	

Порушення основних встановлених розмірів і форми шва виражається в неповномірності ширини і висоти шва, в надмірному посиленні й різких переходах від основного металу до наплавленого. Ці дефекти при ручному зварюванні є результатом низької кваліфікації зварника, поганої підготовки зварюваних кромок, неправильного вибору величини зварювального струму, низької якості збирання під зварювання. Дефекти форми шва можуть бути і наслідком коливання напруги в мережі. При автоматичному зварюванні порушення форми і розмірів шва є наслідком неправильного оброблення шва або порушення режиму в процесі зварювання (швидкості зварювання, швидкості подачі електродного дроту, величини зварювального струму).

Для отримання зварного з'єднання хорошої якості необхідно здійснювати контроль, починаючи від якості підготовки шва і закінчуючи перевіркою отриманого зварного з'єднання. Якість основного металу електродного дроту, присадного металу, флюсу та інших матеріалів перевіряють за сертифікатами і заводськими документами. Маркірування і якість повинні відповідати встановленим технічним умовам і технологічному процесу зварювання.

Зварне з'єднання перевіряються зовнішнім оглядом, дослідженням металографії, хімічним аналізом, механічними випробуваннями, просвічуванням рентгенівськими і гамма-променями, магнітними методами і за допомогою ультразвуку. Попереднє зварне з'єднання ретельно очищають від шлаку, окалини і металевих бризок.

Зовнішнім оглядом виявляють зовнішні дефекти шва. Виконують це неозброєним оком або за допомогою лупи з десятиразовим збільшенням. Розміри зварних швів перевіряють шаблонами і вимірювальним інструментом.

Дослідження металографії проводять, як правило, шляхом засвердлення і подальшого травлення поверхні протягом 1...3 хв. 10%-ним водним розчином подвійної солі хлорної міді і амонію. Осад міді видаляють водою. Засвердлена поверхня повинна захоплювати шов і основний метал. Протравлену поверхню оглядають неозброєним оком або за допомогою лупи. При цьому виявляють якість провару і відсутність внутрішніх дефектів. Для відповідальних зварних конструкцій проводять повніші дослідження металографії. Для цієї мети готують макро- і мікрошліфи із спеціально зварених контрольних пластин чи з пластин, вирізаних із зварних з'єднань.

Хімічний аналіз визначає склад основного і наплавленого металу і електродів, а також їх відповідність встановленим технічним умовам на виготовлення зварного виробу.

Механічні випробування зварного з'єднання проводять або на спеціально зварених контрольних зразках, або використовують зразки, вирізані із зварного з'єднання. Визначають межу міцності на розтяг, ударну в'язкість, твердість і кут загибну.

Рентгенівське просвічування засноване на різному поглинанні променів металом і неметалічними включеннями. При цьому методом виявляють пори, раковини, тріщини, непровари, шлакові включення. Рентгенівські промені направляють на зварний шов, а із зворотного боку прикладають фотографічну (або рентгенівську) плівку з світлочутливою емульсією. Дефектні місця шва (пори, шлакові включення, тріщини та ін.) пропускають промені з меншим поглинанням, чим суцільний метал. Після прояву на плівці добре видно контури дефектів шва.

Просвічування гамма-променями також засноване на різному поглинанні променів металом і неметалічними включеннями. Гамма-промені діють на плівку так само, як рентгенівські, показуючи контури дефектів звареного шва. Гамма-промені виходять при ядерному розпилю природних ^{60}Co штучних радіоактивних речовин (радію, мезоторію, кобальту, церію іридію і ін.). Гамма-промені володіють великою проникаючою здатністю і дозволяють контролювати метал завтовшки до 350 мм. Гамма-просвічування значно простіше, ніж просвічування рентгенівськими променями. Разом з цим слід враховувати, що гамма-промені також шкідливі для людини. Тому ампула з радіоактивною речовиною вміщується в спеціальні переносні свинцеві контейнери або в стаціонарні апарати з дистанційним керуванням. Контейнер встановлюють проти контрольованої ділянки, а із зворотного боку зварного шва вміщують касету з плівкою. Потім за допомогою дистанційного керування висувують ампулу з апарату або відкривають щілину в контейнері для виходу гамма-променів. Слід враховувати, що тонкі вироби краще контролюються рентгенівськими променями, а товсті якісніше перевіряються гамма-променями.

Магнітні методи контролю засновані на утворенні неоднорідного магнітного поля з потоками розсіяння в місцях розташування дефектів шва намагнічення гару контрольованого виробу. Застосовують декілька методів магнітного дослідження (контролю) зварного шва: метод порошкової дефектоскопії, метод магнітографа і індукційний метод контролю.

Метод порошкової дефектоскопії є найбільш простим, але і менш чітким. Після намагнічення виробу зварний шов опилують магнітним порошком або покривають суспензією магнітного порошку (суміш з гасом, маслом або іншими речовинами). Як речовину для виготовлення магнітного порошку застосовують залізну окалину. На поверхні виробу порошок розподіляється нерівномірно; за скупченнями порошку визначають розташування дефектів в зварному шві. Для більшої наочності магнітний порошок або суспензію фарбують в яскраві кольори.

Магнітографічний контроль широко застосовують при контролі зварних швів магістральних трубопроводів. Метод магнітографа полягає в тому, що стан зварного шва записують на спеціальну плівку, вживану для магнітного звукозапису. Для цього на зварний шов труби накладають феромагнітну плівку, а потім намагнічують шов соленоїдом або обкатують дисковим магнітом. Залежно від вигляду і величини дефектів шва у відповідних місцях плівки буде той чи інший ступінь намагніченості. Для відтворення записаних на плівку дефектів її пропускають через спеціальний пристрій, що перетворює магнітний запис в звуковий (магнітофон) або електричний (електронний осцилограф). Найбільш досконалі апарати для контролю магнітографа містять осцилографи. Такі апарати дозволяють перевіряти зварні шви із швидкістю 0,5...1 м/хв. Окрім високої продуктивності цей метод відрізняється великою точністю, простотою виконання, дешевизною вживаних матеріалів, можливістю перевірки низів у різних просторових положеннях і безпекою роботи.

Індукційний метод контролю заснований на використанні магнітного потоку, що розсіюється в місцях розташування дефектів шва, для наведення електрорушійної сили в спеціальній котушці, що пересувається уздовж виробу. Наведений індукційний струм посилюється і подається на телефон, сигнальну лампу або на спеціальний магнітоелектричний прилад. По звуку, відхиленню стрілки приладу або запаленню спеціальної лампи, визначають розташування дефекту.

Ультразвуковий метод контролю заснований на здатності ультразвукових коливань проникати в товщу металу на значну глибину і відбиватися від неметалічних включень та інших дефектних ділянок шва. Ультразвукові дефектоскопи працюють за наступним принципом. Пластина з кварцу або сегнетової соли під дією змінного електричного поля високої частоти дає ультразвукові коливання, які за допомогою щупа прямують на зварне з'єднання, що перевіряється. На межі між однорідним металом і дефектом ці хвилі частково відбиваються і сприймаються другою пластинкою. Під дією змінного тиску ультразвукової хвилі на гранях цієї пластинки з'являється змінна різниця потенціалів, залежна від інтенсивності відображеної хвилі. Електричні коливання від граней пластинки посилюються і прямують в

осцилограф. На екрані осцилографа одночасно зображаються імпульси випромінюваною і відбиваною від дефектів хвиль. По відносному розташуванню цих імпульсів і інтенсивності відображеного імпульсу можна судити про місцезнаходження і характер дефекту в зварному шві. Недоліками ультразвукового контролю є труднощі перевірки швів товщиною менше 10 мм і визначення характеру дефекту.

Випробування зварних швів на непроникність проводять гасом, стислим повітрям, вакуум-апаратом, аміаком, а також гідравлічним методом.

Гасом випробовують зварні шви резервуарів та інших ємностей, що працюють без надмірного тиску. Для цієї мети зварний шов із зовнішнього боку покривають крейdiaним водним розчином, а з внутрішнього сторони - гасом. При наявності навіть найдрібніших пір, тріщин або нещільності гас просочується через них і на покритій крейdiaю поверхні утворюються газові плями.

Випробування стислим повітрям проводять нагнітанням у випробуваний резервуар стислого повітря до тиску, вказаного в технічних умовах на виготовлення резервуару. Шви покривають мильною емульсією і за мильними пухирцями визначають наявність в них дефектів. Якщо габарити дозволяють занурити випробовуваний резервуар у ванну з водою, то дефекти, визначають за бульбашками повітря. Трубопроводи й великі резервуари випробовують стислим повітрям на величину втрати тиску на якийсь час, встановлений технічними умовами.

Вакуум-апарат застосовують при контролі зварних швів, що мають односторонній доступ, коли неможливо використовувати гас, повітря або воду. Апарат складається з камери з вакуумметром і насоса. Контрольований зварюванням тип покривають мильною емульсією, на нього встановлюють камеру і включають насос. Для герметичності камера має в торці м'яку гумову прокладку. Якщо шов має дефекти (пори, тріщини, нещільність), то утворюються мильні пухирцями, які спостерігаються крізь скло камери.

Випробування аміаком проводять шляхом нагнітання у випробуваний резервуар повітря до робочого тиску або тиску, вказаного в технічних умовах на виготовлення виробу. Потім додають 1% аміаку від об'єму повітря в резервуарі при нормальному тиску. Контрольовані зварні шви обгортають папером, просоченим 5%-ним водним розчином азотнокислої ртуті. За наявності нещільності (пори, тріщини та ін.) аміак проходить крізь них і, взаємодіючи з азотнокислою ртуттю, дає на папері чорні плями.

Гідравлічне випробування проводять з метою перевірки не тільки щільності швів, але і їх міцності. Такому випробуванню піддають зварні трубопроводи, посудини і резервуари для газу або рідини, що працюють під тиском. Для цієї мети всі отвори виробу щільно закривають заглушками і заповнюють його водою. За допомогою гідравлічного преса створюють тиск, що в 1,5 раза перевищує робочий тиск виробу, і витримують протягом часу, вказаного в технічних умовах на виготовлення виробу. Потім знижують тиск до робочого значення і перевіряють наявність «потіння» і пропусків води в швах. При цьому проводять обстукування виробу молотком на відстані 20 мм від зварного шва. Вертикальні циліндрові резервуари обстукувати при випробуванні водою не дозволяється.

9.5 Електродугове зварювання

Для розплавлення металу при дуговому зварюванні використовується енергія електричної дуги між електродом і зварюваним металом. При цьому досягається температура понад 6000°C . Теплота дуги, що йде на розплавлення металу, залежить від способу зварювання: найбільші втрати тепла спостерігаються при відкритій дузі, найменші - при зварюванні під шаром флюсу.

Джерелами дуги служать зварювальні перетворювачі, трансформатори і випрямлячі. До них ставлять наступні вимоги:

- напруга холостого ходу (електричний ланцюг розімкнутий) повинна бути достатньою для порушення дуги і безпечною для людини; для джерел постійного струму - не менше 30-35В, змінного - не менше 50-55В; верхня границя не повинна перевищувати 80-90В;
- струм короткого замикання, що виникає в момент торкання електрода і металу, не повинен викликати перегрів і пошкодження обмотки;
- час відновлення напруги після короткого замикання до необхідного значення не повинен перевищувати 0,05сек., інакше кажучи, мати добрі динамічні властивості;
- мати пристрій для регулювання зварювального струму;
- мати достатню потужність для виконання зварювальних робіт;
- володіти високим ККД.

Дуговий розряд між електродами чи електродом і зварюваним металом при електричному дуговому зварюванні здійснює нагрів і плавлення металу.

Обов'язковим елементом при дуговому зварюванні є електроди. Вони можуть бути такими, що не плавляться (графіт, вугілля, вольфрам) і що плавляться, а також покритими і непокритими. Покриття електродів застосовується для стійкого горіння дуги й одержання якісного металу шва, для чого до складу електродного покриття вводять легко іонізуючі елементи, шлако- і газоутворюючі речовини, що легують елементи і зв'язують матеріали. Непокриті електроди (зварювальний дріт) застосовують при зварюванні в середовищі захисних газів і під шаром флюсу.

Зварювання неплавним електродом здійснюють за методом Н.Н. Бенардоса (рис.18,а).

Основний вид дугового зварювання є зварювання плавленням електродом по методу І.Г.Славянова (рис. 18,б). Живлення дуги здійснюють від джерел змінного струму при прямій чи зворотній полярності. Дуга розплавляє основний метал і металевий електрод. Переваги зварювання *на постійному струмі*: стає горіння дуги і більший чи менший розігрів виробу за рахунок використання прямої чи зворотної полярності. Недоліком є низький ККД (0,3 – 0,6) і значні витрати електроенергії на 1 кг наплавленого металу (22 – 36 МДж).

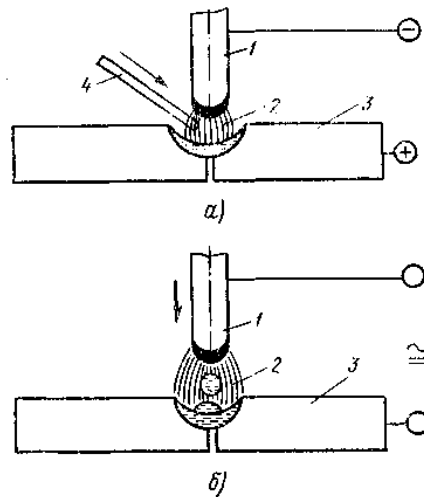


Рис. 18 – Схеми електродугового зварювання:

а - зварювання неплавним електродом за методом Н.Н. Бенардоса; *б* - зварювання плавним електродом за методом І.Г. Славянова; 1 - електрод тугоплавний матеріал (графіт, вуглецевий елемент); 2 – дуга – живлення джерела постійного струму; 3 – основний метал; 4 – додатковий метал

Зварювання на змінному струмі. Переваги: більш дешеве зварювальне обладнання, менші габарити й маса, простота експлуатації, достатній ККД зварювальних трансформаторів (0,8-0,85), мала витрата розхід електроенергії (11-14 МДж на 1 кг металу). Недоліком є незабезпечення сталого горіння дуги.

9.5.1 Схеми запалення зварювальної дуги

Процес запалення дуги здійснюється в три етапи (рис.19). Спочатку проводять розігрівання торця електроду і виробу в місці контакту при короткому замиканні електроду на виріб. Висока щільність струму в зоні контакту приводить до інтенсивного нагріву кінця електроду і ділянки виробу.

Другий етап характеризується значною емісією електронів з розігрітого кінця електроду (катода) і руху їх до виробу (аноду) після відведення електроду від місця контакту на 3...6 мм. Зіткнення швидкорухомих електронів з атомами або молекулами газів і пари металу приводять до їх збудження або утворення іонів. Газовий дуговий проміжок унаслідок наявності в ньому заряджених частинок стає струмопровідним. Це створює умови для запалення зварювальної дуги і постійного дугового розряду.

Газ, в якому значна частина атомів або молекул іонізована, а в даному випадку це суміш нейтральних атомів, що виникає в дуговому проміжку, електронів і іонів, називається плазмою. Плазма має дуже високу електропровідність. На третьому етапі досягається стійке горіння дуги.

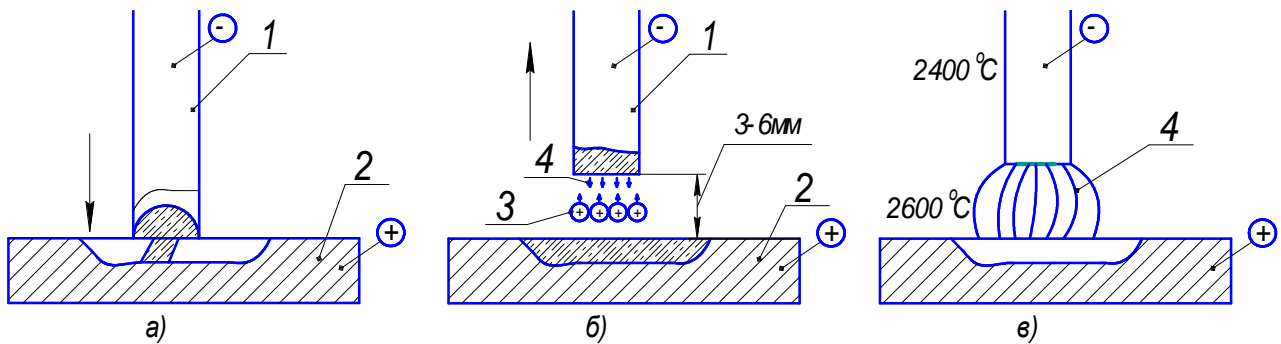


Рис.19 - Схеми запалення зварювальної дуги: *а* – коротке замикання (розігрів торцю); *б* – іонізація; *в* – стає горіння; 1 – електрод; 2 – основний зварювальний метал; 3 – іони; 4 – електрони; 5 – дуга – 6000⁰С

Енергія джерела живлення в електричній дузі перетворюється на кінетичну і потенційну енергії частинок плазми, які переходять в теплову і світлову енергії. Температура стовпа дуги 4 досягає 6000...7000 °С. Частина енергії плазми перетворюється на електромагнітне випромінювання - фотони, що покидають зону дуги. Температура катодної і анодної плям металевих електродів рівна відповідно 2400 і 2600 °С. На аноді ж виділяється близько 43 % теплоти унаслідок бомбардування його електронами з більшою кінетичною енергією; на катоді, який бомбардується іонами, що мають меншу енергію - близько 36 % і в стовпі дуги - решта теплоти.

Спосіб зварювання, вигляд і склад зварювальних матеріалів визначають ефективну теплову потужність зварювальної дуги, тобто потужність, що витрачається на нагрів заготовки.

При зварюванні плавким електродом близько 90 % металу його, що поступає у вигляді крапель, використовується для формування зварного шва, 10 % металу розбризкується, випаровується або окислюється.

Електричні властивості зварювальної дуги при постійній довжині дуги характеризується статичною вольт-амперною характеристикою. Це залежність між напруженням дуги і зварювальним струмом.

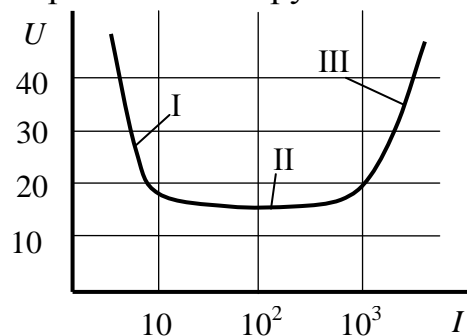


Рис. 20 - Залежність між напруженням дуги і зварювальним струмом: *I* – круто падаюча; *II* – жорстка характеристика; *III* - зростаюча

9.5.2 Ручна дугове зварювання покритим електродом

Розплавлений метал зварювальної ванни досить бурхливо реагує з киснем, воднем і азотом повітря. Наслідком цієї взаємодії є змінений хімічний склад, гірші механічні, корозійні й експлуатаційні властивості металу зварного шва. Щоб уникнути перерахованих недоліків застосовують металеві електроди, на поверхню яких наноситься спеціальний склад, так звані покриті електроди. Призначення покриттів - захист зони зварювання від дії повітря, легування металу зварного шва корисними компонентами, стабілізація горіння дуги і видалення шкідливих домішок із зварювальної зони.

Схема зварювання покритим електродом показана на рис. 21. Під впливом зварювальної дуги 7 стрижень електроду 6 плавиться, метал його у вигляді крапель поступає в металеву ванну 8. При цьому плавиться також покриття 5, створюючи газову захисну атмосферу 4 навколо дуги і рідку шлакову ванну 3 на поверхні розплавленого металу. Видалення зварювальної дуги сприяє охолодженню і кристалізації металу зварювальної ванни і формуванню зварного шва 1. Розплавлене покриття електроду спливає на поверхню і, застигаючи, утворює на поверхні шва шлакову тверду кірку 2.

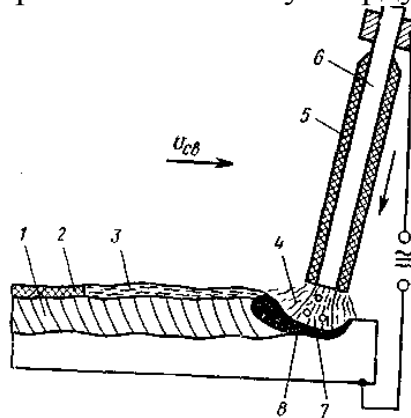


Рис. 21 - Схема зварювання покритим електродом

Ручне дугове зварювання застосовують для наплавлення металевих поверхонь з метою їх відновлення і підвищення зносостійкості й твердості деталей машин. Суть процесу наплавлення полягає у плавленні присадного металу теплотою електричної дуги. Процес наплавлення відзначається мобільністю і простотою, можливістю нанесення на поверхню виробу матеріалів, різних за хімічним складом і фізико-механічними властивостями. Товщина наплавленого шару змінюється від 1 до 3 мм. Недолік методу наплавлення - мала продуктивність і важкі умови праці.

Електрична дуга є джерелом теплоти в процесі металізації напиленням (рис. 22). Напилюваний матеріал застосовують у вигляді дроту 1, стрічки або порошку. Електродний дріт поступає по наконечниках 2. Електрична дуга горить між двома електродами в потоці стиснутого повітря, що подається по соплу 3, захоплює краплі розплавленого металу і, подрібнюючи їх, направляє на поверхню деталі 4.

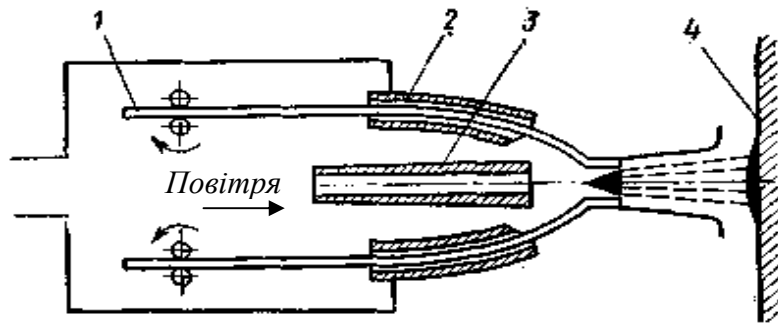


Рис. 22 - Схема електродуги металізатора

Металізацію напиленням застосовують для відновлення зношених деталей машин; нанесення захисних, антифрикційних і жароміцних покриттів; усунення пористостей, раковин та інших дефектів, що утворюються у процесі литва або зварювання металевих деталей.

Електроди виготовляють із зварювального дроту діаметром 0,3 - 12 мм і завдовжки 350 - 400 мм. Зварювальний дріт зберігають і транспортують в таких умовах, щоб уникнути забруднень і пошкоджень. ГОСТ на дріт сталевий зварювальний регламентує більше 70 марок, зведених за складом у три групи: низьковуглецеві (Св-08, Св-10ГА та ін.), леговані (Св-12ГС, Св-08ХНМ і ін.) і високолеговані (Св-12Х13, Св-10Х20Н15 і ін.). Зварювальний дріт використовують так само, як присадочний матеріал при зварюванні неплавким електродному і газовому зварюванні, а також при автоматичному дуговому зварюванні під флюсом і зварюванні плавким електродом у середовищі захисних газів.

Покриття на сталевий дріт наносять методами занурення або пресування під тиском. До складу покриттів вводять шлакотвірні, газотвірні, такі, що легують, стабілізують, зв'язують речовини, а також розкислювачі.

Крім сталевих використовують зварювальні дроти з алюмінієвих сплавів (для зварювання алюмінію і його сплавів), з мідних сплавів (для зварювання міді і її сплавів), з титанових сплавів (для зварювання титану і його сплавів).

При дуговому зварюванні знаходять застосування неплавкі електродні стрижні, що виготовляються з чистого вольфраму; вольфраму з активуючими присадками з оксидів торія, лантану або ітрію; електротехнічного вугілля або синтетичного графіту. Вольфрамові електроди мають діаметри 0,2 - 12 мм і довжини 75, 140 або 170мм; графітові й вугільні електроди мають діаметри 5 - 25 мм і довжини 200 - 300мм.

Технологічний режим ручного дугового зварювання характеризується такими параметрами: силою зварювального струму і діаметром електроду. Змінюючи параметри, керують формою і складом зварного шва.

Режим зварювання визначають теоретичним або експериментальним шляхом. Зварювальний струм характеризується залежністю $I = K \cdot d$, де I - струм, А; $K=40...60$ - коефіцієнт, А/мм, визначуваний дослідним шляхом (у разі використання електродів із стрижнями з низьковуглецевих сталей) і 35...40 (з високолегованих сталей); d - діаметр електроду, мм.

9.5.3 Автоматичне і напіваавтоматичне зварювання під флюсом

Схема автоматичного зварювання під флюсом показано на рис. 23. Зварювальна дуга горить між електродом 1, не покритим електродним дротом, і основним металом 5. Дріт подають в зону зварювання за допомогою механізму подачі 2, струм до електроду - через струмодріт 3. Зварювальна дуга 6 і зварювальна ванна 7 ізольовані від навколишнього середовища шаром гранульованого флюсу 4 завтовшки 30...50 мм. Зварювальна ванна складається з металу розплавлених кромek зварюваних металевих елементів і електродного дроту. Флюс в області дуги і зварювальної ванни, розплавляючись, утворює рідку шлакову ванну 8. Після переміщення зварювальної дуги протікає процес формування зварного шва 9 унаслідок кристалізації металу зварювальної ванни. Одночасно твердне шлакова ванна, утворюючи шлакову кірку 10, що легко видаляється. Флюс, що не розплавився, знов використовують при зварюванні.

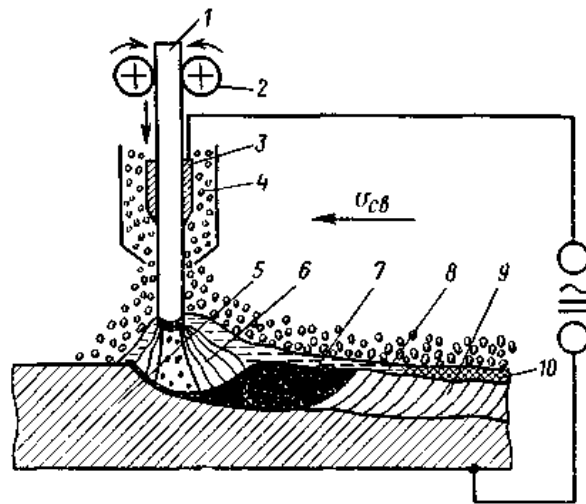


Рис.23 - Схема автоматичного зварювання під флюсом

Зварювання під флюсом відрізняється однорідністю металу шва за хімічним складом, покращеною формою і постійністю розмірів шва. Зварювання дає підвищення продуктивності праці в порівнянні з ручним зварюванням в 3...6 разів, а зварювання на підвищених режимах - в 15...20 раз. Підвищення струму приводить до можливості зварювання металу значної товщини без обробки кромek і збільшення кількості металу, що наплавляється. При цьому шар флюсу перешкоджає випліскуванню рідкого металу із зварювальної ванни і зменшує втрати на чад. Автоматичне зварювання під флюсом витрачає всього 35 % електродного металу проти 70% при зварюванні покритими електродами. При цьому виді зварювання спостерігається менше виділення шкідливих газів, відпадає необхідність захисту обличчя і очей зварювача.

Окрім цих видів до електродугових зварювань відносяться: електрошлакова зварювання, зварювання в атмосфері захисних газів, зварювання і обробка матеріалів плазмовим струменем, зварювання електронним і лазерним променем.

9.6 Газове зварювання

Одним з різновидів термічної зварювання є газове зварювання, схема якого подана на рис. 24. Метал зварюваних елементів 1 розплавляється високотемпературним газовим полум'ям 4. Зазор між елементами заповнюється присадковим металом 2. Газовий пальник 3 служить для спалювання горючих газів в атмосфері кисню. Горючими газами є природні гази, водень, пари бензину, пари гасу, нафтові гази, ацетилен. Для зварювання найчастіше використовують ацетилен C_2H_2 , оскільки він відзначається високими температурою згоряння і теплотворною здатністю. Ацетилен легший, ніж повітря і кисень.

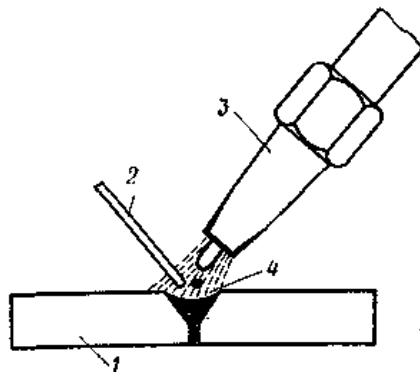


Рис. 24 - Схема газового зварювання

При газовому зварюванні краї металу і присадочний пруток розплавляються газокисневим полум'ям. Пруток необхідний для заповнення зварювальної ванни й одержання потрібного перерізу шва.

Для газового зварювання і різання металу як пальні гази використовують ацетилен, пропан, природний газ, а також пари бензину і гасу. Частіше застосовують ацетилен, який при згорянні в суміші з киснем виділяє велику кількість тепла, при цьому температура полум'я складає близько $3150^{\circ}C$.

Зварювання і різання здійснюють газовими пальниками й різачками.

Обладнання для газового зварювання:

1. *Ацетиленовий генератор.* Ацетилен на робоче місце поставляють в балонах або виробляють на місці в генераторах. Конструкції генераторів поділяються за схемою контакту карбіду кальцію з водою: „карбід на воду” (КВ); „вода на карбід” (ВК) і „витисненням води” (ВВ).

У генераторах системи ВВ (рис.25) карбід кальцію завантажують в реторту 2, куди по трубі подається вода з резервуара 3. Ацетилен з реторти надходить у верхню частину корпусу генератора 1, звідки через штуцер 12 попадає у водяний затвор 11 і далі по шлангах у пальник. Тиск газу контролюють за манометром 6. У разі підвищення тиску понад норму (наприклад, при зупинці подачі газу) вода з передньої частини реторти I починає витіснятися в камеру II, а регулятор тиску 8 перекриває надходження води, після чого реакція припиняється. При падінні тиску ацетилену в генераторі вода з камери II знову попадає в передню частину реторти I, регулятор тиску 8 відкриває доступ води з бака. Генератор має запобіжний клапан 5.

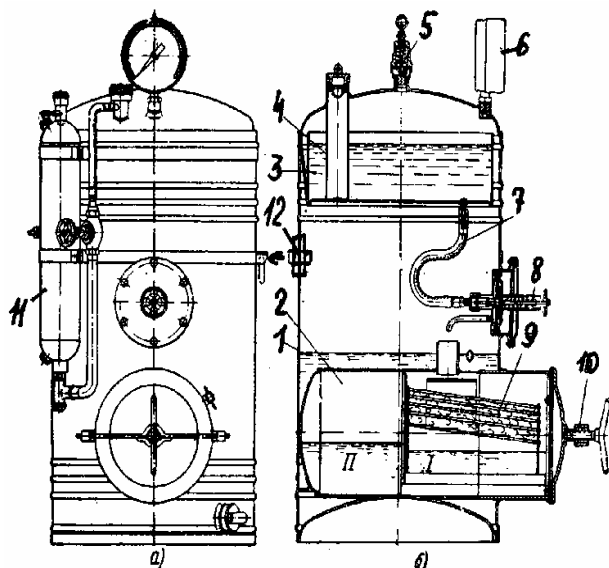


Рис. 25 - Ацетиленовий генератор системи ВВ: а — зовнішній вигляд, б — розріз: 1 — корпус; 2 — реторта; 3 — бачок для води; 4 — горловина; 5 — запобіжний клапан; 6 — манометр; 7 — трубка; 8 — регулятор; 9 — кошик для завантаження карбідом; 10 — траверса; 11 — водяний затвор.

2. Газові балони. Кисень поставляють у балонах ємкістю 40 л і тиском 1500 МПа. Вага балона 60 кг. З метою захисту вентиля від ударів під час транспортування на нього наворачтають ковпак. Балон фарбують у синій колір з чорним написом “Кисень” (рис.26).

Балон для ацетилену (рис.27) заповнений пористою масою, просоченою ацетоном. При заповненні балона ацетиленом останній розчиняється в ацетоні, що дозволяє доводити тиск до 180 МПа. У газоподібному стані ацетилен вибухає при тиску вище 15 МПа. Балон з ацетиленом фарбують білою фарбою з написом червоного кольору "Ацетилен".

3. Газові редуктори На виході з балона встановлюють редуктор (рис.28), метою якого є зниження і регулювання тиску газу, підтримка встановленого тиску незалежно від витрат газу і контроль за тиском у балоні й пальнику.

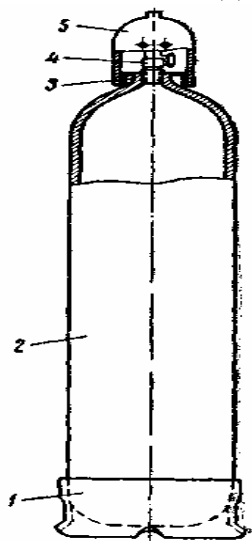


Рис.26 - Балон для кисню: 1 — башмак; 2 - корпус; 3 — кільце; 4 - вентиль; 5 - ковпак.

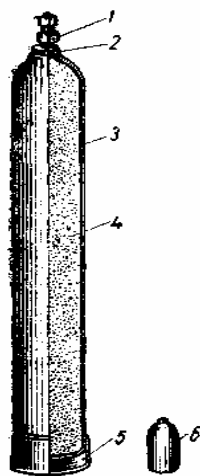


Рис. 27 —Балон для ацетилену в розрізі: 1 - вентиль; 2 - горловина; 3 — корпус; 4 - пориста маса; 5 — башмак; 6 — ковпак.

Редуктор діє таким чином. Газ з балона надходить через штуцер 4 і попадає в камеру високого тиску 6. Далі газ через клапан 7 надходить у камеру низького тиску 9, з якої через штуцер 10 йде по шлангу в пальник. Положення клапана 6 забезпечує тиск газу в пальнику: чим більше він відкритий, тим вище тиск у пальнику і навпаки. Ступінь відкриття клапана регулюється гвинтом 1. Якщо відбору газу немає, тиск у камері 9 починає зростати, що приводить до прогину мембрани 2, при цьому одна пружина 11 стискується, а друга 6 розтискається. Це приводить до закриття клапана 6, тобто надходження газу з камери високого тиску 3 припиниться. У разі відновлення витрати газу тиск у камері 9 упаде і система знову забезпечує надходження газу (штуцер 10). Тиск газу контролюють манометрами високого 5 і низького 8 тиску. Запобіжний клапан 3 відкривається при надмірному тиску, щоб не зруйнувати мембрану 2.

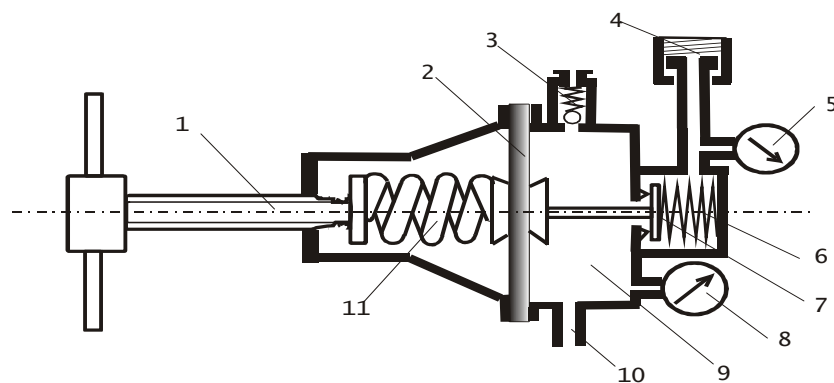


Рис.28 – Газовий редуктор:

1 – гвинт, що регулює відкриття клапана; 2 – мембрана; 3 – запобіжний клапан; 4 – штуцер; 5 – манометр високого тиску; 6 – камера високого тиску; 7 – клапан; 8 – манометр низького тиску; 9 – камера низького тиску; 10 –штуцер; 11 – пружина.

4. Газові пальники. Пальники служать для змішування пального газу і кисню, регулювання витрати газів і одержання зварювального полум'я. Пальники бувають інжекторні (рис.29) й безінжекторні (рис.30).

Безінжекторні пальники використовують при низькому, а інжекторні – при високому тиску ацетилену. В інжекторних пальниках кисень надходить через сопло 4, при цьому навколо сопла відбувається розрідження газу, завдяки чому ацетилен підсмоктується, а потім змішується з киснем. При низькому тиску ацетилену і високому тиску кисню кисень перешкоджає надходженню ацетилену в пальник.

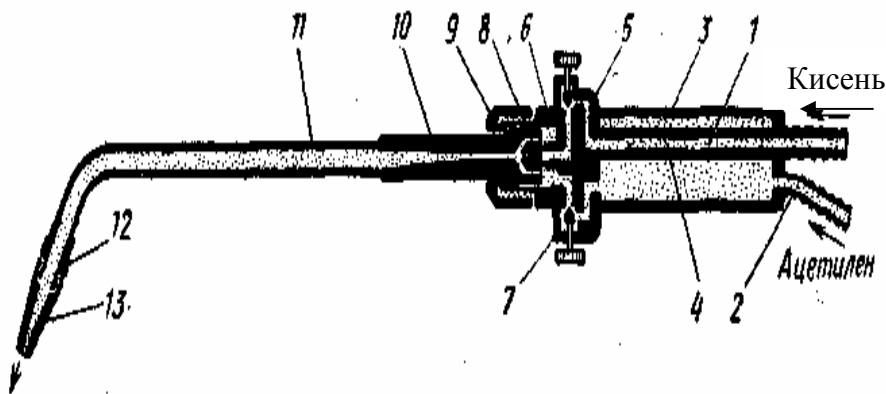


Рис. 29 - Інжекторна пальник:

1 - кисневий ніпель; 2 - ацетиленовий ніпель; 3 - рукоятка; 4 - кисневе сопло; 5 - вентиль для кисню; 6 - корпус; 7 - вентиль для ацетилену; 8 - інжектор; 9 - накидна гайка; 10 - змішувальна камера; 11 - наконечник; 12 - з'єднувальний ніпель; 13 - мундштук

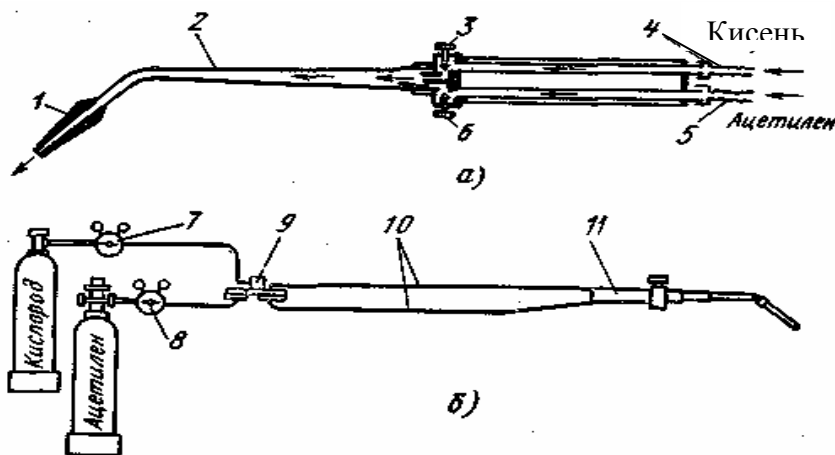


Рис.30 - Безінжекторний пальний:

1 — мундштук; 2 — трубка наконечника; 3 — вентиль кисню; 4 — ніпель кисню; 5 — ніпель ацетилену; 6 — вентиль ацетилену; 7 — редуктор кисневий; 8 — редуктор ацетиленовий; 9 — регулятор ДКР; 10 — шланги; 11 — пальник ГАР

Зварювальне полум'я

Зварювальне полум'я характеризується графіком розподілу температур, зображеним на рис. 31, і складається з трьох зон: ядро 1, зона відновлення 2 і зона окислювання 3. У зоні 1 (ядрі полум'я) здійснюється нагрів газової суміші до температури займання. Зона 2 є зоною першої стадії горіння ацетилену в атмосфері балонного кисню; вона володіє відновними властивостями і має велику температуру, тому називається зварювальною або робочою зоною. Друга стадія горіння ацетилену в середовищі атмосферного кисню спостерігається в зоні 3, що володіє окислювальними властивостями.

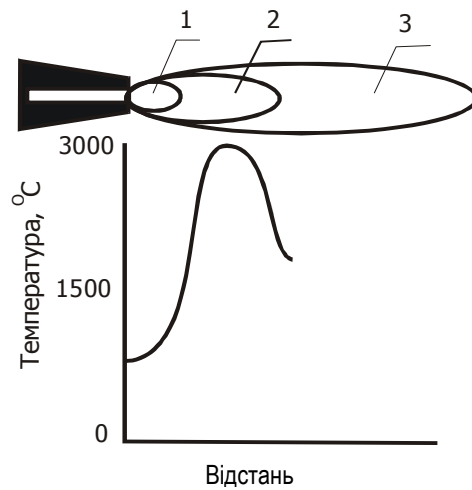


Рис. 31 - Схема полум'я

Важливою перевагою зварювання є можливість при виготовленні виробу вибрати його найбільш раціональну конструкцію і форму. Крім того, зварювання дозволяє економно використовувати метали і значно зменшити відходи виробництва. Наприклад, при заміні клепаних конструкцій зварними економія матеріалів в середньому складає 15...20%, а при заміні литих деталей зварними - близько 50%. Зварювання значно знижує трудомісткість, оскільки вимагає меншого обсягу робіт, ніж при клепці й литві. Виключаються такі роботи, як розмітка, свердління відкинувши, складне формування та ін. Особливо відчутне зниження трудомісткості при виготовленні великогабаритних виробів. Заміна литих корпусів і станин зварно-литими, а штампованих виробів складної форми штампозварювальними також дає ефективне зниження трудомісткості в заготівельних цехах і при подальшій обробці. Це, в свою чергу, знижує вартість виготовлення виробів.

Зварні з'єднання за міцністю, як правило, не поступаються міцності того металу, з якого зроблені вироби. Зварні конструкції застосовують при виготовленні виробів, що працюють при знакозмінних і динамічних навантаженнях, при високих температурах і тиску. Особливо слід підкреслити, що умови праці при зварюванні як за гігієною, так і безпекою, значно кращі, ніж при клепці, і особливо при литві.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуляев А. П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1986. - 636с.
2. Дриц М. Е.; Москалев М. А. Технология конструкционных материалов и материаловедение.- М.: Высш. шк., 1990. – 256с.
3. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1980. – 527с.
4. Материаловедение./ Под ред. проф. Б.Н.Арзамасова. - М.: Машиностроение, 2000. – 384с.
5. ДСТУ 3491-69 (ГОСТ 30242-97) Дефекти з'єднань при зварюванні металів плавленням

Навчальне видання

**Клемешев Олексій Георгійович,
Бабічева Ольга Федорівна**

Конспект лекцій з дисципліни **«Метали і зварювання у будівництві»**
(для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти за напрямом
підготовки 0921 (6.060101) «Будівництво»).

Редактор *М. З. Аляб'єв*

План 2008, поз. 88 Л

Підп. до друку 24.03.2008 р.	Формат 60x84 1/16
Друк на ризографі.	Ум. друк. арк. 3,9
Тираж 150 пр.	Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 731 від 19.12.2001